

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMELIHARAAN HIDROPONIK
TANAMAN SAWI PAKCOY MENGGUNAKAN *INTERNET OF
THINGS* BERBASIS *ARDUINO IOT CLOUD***

(Skripsi)

**Oleh
ZAKI TAUFIQURRACHMAN
NPM 2015061034**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMELIHARAAN HIDROPONIK
TANAMAN SAWI PAKCOY MENGGUNAKAN *INTERNET OF
THINGS* BERBASIS *ARDUINO IOT CLOUD***

Oleh

ZAKI TAUFIQURRACHMAN

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Prodi Teknik Informatika
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

Rancang Bangun Sistem Pemeliharaan Hidroponik Tanaman Sawi Pakcoy Menggunakan *Internet Of Things* Berbasis *Arduino IoT Cloud*

Oleh:

Zaki Taufiqurrachman

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemeliharaan hidroponik tanaman sawi pakcoy berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan platform *Arduino IoT Cloud*. Permasalahan utama yang diangkat adalah sulitnya pemantauan manual terhadap parameter lingkungan seperti pH, nutrisi (TDS), suhu, dan kelembapan yang sering kali menyebabkan ketidakefisienan dan risiko gagal panen bagi petani di J'Sela Farm. Metode pengembangan yang digunakan adalah metode *Prototype*, yang mencakup tahapan komunikasi, perencanaan cepat, pemodelan desain, konstruksi prototipe, hingga penyerahan sistem dan umpan balik. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terintegrasi dengan berbagai sensor, yaitu sensor pH 4502C, sensor TDS SEN0244, sensor ultrasonik HC-SR04, sensor *water level*, dan sensor DHT22. Data dari sensor-sensor tersebut dikirimkan ke *Arduino IoT Cloud* untuk dipantau secara *real-time* melalui *dashboard* dan dikirimkan sebagai notifikasi ke ponsel pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi teknologi IoT ini berhasil meningkatkan efisiensi pemeliharaan dan pemantauan tanaman sebesar 97,22% dibandingkan dengan metode konvensional, terutama melalui pengurangan waktu intervensi harian dari 180 menit menjadi hanya 3 menit. Selain itu, penggunaan sistem ini memberikan dampak positif pada pertumbuhan tanaman, dengan peningkatan jumlah tangkai daun sebesar 51,86%, tinggi batang sebesar 22,30%, dan lebar daun sebesar 32,00% dibandingkan dengan metode pemeliharaan biasa.

Kata Kunci: Hidroponik, Sawi Pakcoy, *Internet of Things*, ESP32, *Arduino IoT Cloud*, *Prototype*.

ABSTRACT

Design and Development of an IoT-Based Hydroponic Maintenance System for Pak Choy Using Arduino IoT Cloud

By:

Zaki Taufiqurrachman

This research aims to design and develop an Internet of Things (IoT) based hydroponic maintenance system for pak choy plants using the Arduino IoT Cloud platform. The primary issue addressed is the difficulty of manual monitoring of environmental parameters such as pH, nutrients (TDS), temperature, and humidity, which often leads to inefficiency and the risk of harvest failure for farmers at J'Sela Farm. The development method used is the Prototype method, which includes stages of communication, quick planning, design modeling, prototype construction, followed by system delivery and feedback. This system utilizes the ESP32 microcontroller as a control center integrated with various sensors, namely the pH 4502C sensor, TDS SEN0244 sensor, HC-SR04 ultrasonic sensor, water level sensor, and DHT22 sensor. Data from these sensors are sent to the Arduino IoT Cloud for real-time monitoring via a dashboard and sent as notifications to the user's smartphone. The results show that the implementation of this IoT technology successfully increased the efficiency of plant maintenance and monitoring by 97.22% compared to conventional methods, primarily through the reduction of daily intervention time from 180 minutes to just 3 minutes. Additionally, the use of this system had a positive impact on plant growth, with an increase in the number of leaf stalks by 51.86%, stem height by 22.30%, and leaf width by 32.00% compared to standard maintenance methods.

Keywords: *Hydroponics, Pak Choy, Internet of Things, ESP32, Arduino IoT Cloud, Prototype.*

Judul Skripsi

: Rancang Bangun Sistem Pemeliharaan
Hidroponik Tanaman Sawi Pakcoy
Menggunakan Internet Of Things Berbasis
Arduino IoT Cloud

Nama Mahasiswa

: Zaki Taufiqurrachman

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2015061034

Program Studi

: Teknik Informatika

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Ir. Gigih Forda Nama, S.T., M.T., I.P.M. Puput Budi Wintoro, S.Kom., M.T.I.

NIP 198307122008121003

NIP 198410312019031004

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik
Informatika



Herlinawati, S.T., M.T.

NIP 197103141999032001



Yessi Mulyani, S.T., M.T.

NIP 197312262000122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Ir Gigih Forda Nama, S.T., M.T.I., I.P.M.**



Sekretaris

: **Puput Budi Wintoro, S.Kom., M.T.I.**



Penguji

: **Wahyu Eko Sulistiyono, S.T., M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Desember 2025

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pemeliharaan Hidroponik Tanaman Sawi Pakcoy Menggunakan *Internet Of Things* Berbasis *Arduino IoT Cloud*” dibuat oleh saya sendiri. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum atau akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 4 Februari 2026

Pembuat pernyataan,



Zaki Taufiqurrachman

NPM 2015061034

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 13 November 2001. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Purwanto dan Ibu Mimi Sugiarti, S.Pd., M.Kes.

Penulis menyelesaikan pendidikannya di SDIT Permata Bunda pada tahun 2014, SMP IT Fitrah Insani pada tahun 2017, dan SMA Negeri 7 Bandar Lampung pada tahun 2020. Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis melakukan beberapa kegiatan, antara lain:

1. Menjadi anggota biasa Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung, Departemen Komunikasi dan Informasi, Divisi Media Informasi pada tahun 2021 - 2023.
2. Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Desa Kesuma Dadi, Kecamatan Bekri, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung pada bulan Januari sampai dengan Februari 2023.
3. Mengikuti program *Course* KMMI Konsep, Strategi, dan Implementasi IoT 2021.
4. Mengikuti program Studi Independen Kampus Merdeka dari Kementerian Pendidikan dan Budaya dengan mengambil kelas *Internet Of Things* di Indobot Academy pada tahun 2022.
5. Mengikuti program Magang Bersertifikat Kampus Merdeka dari Kementrian Pendidikan dan Budaya dengan mengambil program magang sebagai *IoT Engineer* di PT Inamas Sintesis Teknologi (INASTEK) pada tahun 2023.
6. Menjadi anggota UKM Unila Archery pada tahun 2023 - 2024.

MOTTO

“ Kontrol apa yang bisa kau kontrol, jangan paksakan kehendak”
(Penulis)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Q.S. Al-Baqarah : 286)

“Karena sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan”
(Q.S. Al Insyirah : 5)

“Seburuk-buruknya engkau, jangan tinggalkan shalat”
(Penulis)

PERSEMBAHAN

Bismillaahirrohmaanirrahiim,

Dengan mengharapkan ridho dari Allah SWT,

Kupersembahkan karyaku ini untuk orang-orang yang kusayangi

dengan setulus hati.

Orangtua tercinta,

Keluargaku,

Teman-Temanku,

Terimakasih untuk semuanya,

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pemeliharaan Hidroponik Tanaman Sawi Pakcoy Menggunakan *Internet Of Things* Berbasis *Arduino IoT Cloud*”. Dalam pelaksanaan dan pembuatan skripsi ini penulis menerima dukungan baik secara moril maupun materil yang sangat berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada:

1. Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya.
2. Bapak Dr. Hi. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Ibu Yessi Mulyani, S.T, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Lampung dan telah membantu proses kelancaran pengerjaan penelitian.
5. Bapak Ir. Gigih Forda Nama, S.T., M.T.I., IPM selaku Pembimbing Utama yang selalu meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan dukungan serta memudahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini;
6. Bapak Puput Budi Wintoro, S.Kom., M.T.I. selaku Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan dukungan serta bimbingan agar menjadi lebih baik;
7. Bapak Wahyu Eko Sulistiyono, S. selaku Penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan terhadap penelitian ini;
8. Seluruh Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Purwanto dan Mimi Sugiarti, S.Pd., M.Kes. selaku orang tua yang selalu mendoakan, memberi semangat, nasihat, dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
10. Keluarga Besar Misran yang selalu memberikan arahan, dukungan serta selalu memotivasi penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

11. Keluarga Besar Slamet Wijoyo yang selalu memberikan arahan, dukungan serta selalu memotivasi penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
12. Keluarga besar HELLIOS 2020 yang telah menjadi teman seperjuangan sejak mahasiswa baru, terima kasih kebersamaan dan bantuan yang telah diberikan.
13. Teman teman Self Hiling Dhoni, Satria, Bachtiar yang selalu mendukung saya, memberi arahan dan motivasi selama mengerjakan skripsi.
14. Teman teman BC Semen (Yudha, Rahmat, Addam, Akbar, Kevin, Fathan, Khalid, Thoriq, Halim, Andro, Rizky, Aljabar, Gilang, Vizar, Marsel) yang selalu mendukung saya selama ini.
15. Teman teman Tahu Squad (Aisyah, Muhtarom, Aem, Rahman, Ayu, Syahrul) yang selalu mendukung saya selama ini.
16. Teman teman Eeq (Ikhsan, Farghali, Nabil M, Fadhil F, Faris, Yudistira, Ari, Miftah) yang telah mendukung saya selama ini.
17. Honorable Mention untuk Ikhsan, Nabil M, Kahfi yang selalu membantu mengerjakan alat di Raffles; Marsel, Satria, Dhoni, Bachtiar, Addam, Rizky yang sudah sangat membantu dalam memberikan masukan serta arahnya; Pak Dion Hidroponik yang telah memperbolehkan untuk melakukan penelitian di J'Sela Farm; Zaskia Feradila sebagai support system diakhir kepenulisan skripsi ini dan sekaligus pacar pertama penulis; Admin Mba Rika yang sangat membantu dalam berkas administrasi.
18. Keluarga besar HIMATRO yang telah menjadi wadah penulis mengembangkan nilai-nilai organisasi dan kebersamaan

Penulis berharap agar laporan ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan keilmuan di bidang teknik informatika. Oleh karena itu, semoga penelitian ini bermanfaat bagi yang membacanya.

Bandar Lampung, 4 Februari 2026

Penulis,

Zaki Taufiqurrachman

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
MENGESAHKAN	vii
SURAT PERNYATAAN	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
MOTTO	x
PERSEMBAHAN	xi
SWANCANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	5
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Hidroponik	7
2.1.1 Jenis-jenis Sistem Hidroponik	7
2.2 Sawi	9
2.2.1 Klasifikasi Tanaman Sawi	10
2.2.2 Jenis-Jenis Tanaman Sawi	11
2.2.3 Syarat Tumbuh Sawi	15
2.3 <i>Internet of Things</i>	16
2.4 Mikrokontroller	18
2.4.1 <i>ESP32 DevKit V1</i>	19
2.5 Sensor	20

2.5.1	Sensor <i>pH</i> Meter 4502C.....	20
2.5.2	Ultrasonic Sensor HC-SR04	22
2.5.3	TDS (<i>Total Dissolve Solid</i>) Sensor SEN0244.....	23
2.5.4	Water Level	24
2.5.5	DHT22 Temperature & Humidity.....	25
2.6	Adaptor DC 12V 3A.....	26
2.7	Step Down LM2596	28
2.8	Liquid Crystal Display (LCD).....	28
2.9	Micro Submersible Water Pump	30
2.10	Pompa Utama YP-104.....	31
2.11	Alat Kalibrator.....	32
2.11.1	TDS Meter TDS-3	33
2.11.2	<i>pH</i> Meter Lutron <i>pH</i> -208	34
2.12	Arduino IoT Cloud	35
2.13	Arduino IDE	40
2.14	Software Development Life Cycle (SDLC)	41
2.14.1	Metode Prototype	41
2.15	Unified Modeling Language (UML)	43
2.15.1	Use Case Diagram.....	44
2.15.2	Activity Diagram.....	46
2.16	Black Box Testing	47
2.17	Field Validation Testing.....	49
2.18	Korelasi Pearson	51
2.19	Penelitian Terkait	52
III	METODE PENELITIAN.....	60
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	60
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	61
3.3	Tahapan Penelitian	65
3.3.1	Perencanaan.....	66
3.3.2	Pengembangan	67
3.3.3	Evaluasi	68
3.3.4	Penyusunan Laporan	69
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	70
4.1	Perencanaan.....	70
4.1.1	Identifikasi Permasalahan	70
4.1.2	Penetapan Tujuan	70

4.1.3	Studi Literatur	71
4.2	Pengembangan Iterasi 1	72
4.2.1	<i>Communication</i>	72
4.2.2	<i>Quick Plan and Modelling Quick Design</i>	74
4.2.3	<i>Construction of Prototype</i>	97
4.2.4	<i>Deployment Delivery & Feedback</i>	141
4.3	Pengembangan Iterasi 2	142
4.3.1	<i>Communication</i>	142
4.3.2	<i>Quick Plan and Modelling Quick Design</i>	144
4.3.3	<i>Construction of Prototype</i>	161
4.3.4	<i>Deployment Delivery & Feedback</i>	174
4.4	Evaluasi	175
4.4.1	<i>Black Box Testing</i>	175
4.4.2	<i>Field Validation Testing</i>	213
4.4.3	Korelasi Data Sensor	256
4.5	Capaian Penelitian	264
4.5.1	Hasil Rancangan Sistem	264
4.5.2	Hasil Pengujian Kinerja Sistem IoT	266
4.5.3	Hasil Analisis Efisiensi Pemeliharaan (Kuantifikasi Waktu dan Tenaga)	267
4.5.4	Hasil Efektivitas Sistem Terhadap Pertumbuhan Tanaman	269
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	274
5.1	Kesimpulan	274
5.2	Saran	274
	DAFTAR PUSTAKA	276
	LAMPIRAN	280

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Hidroponik NFT	8
Gambar 2.2 Sawi Pakcoy	9
Gambar 2.3 Sawi Putih	12
Gambar 2.4 Sawi Hijau	12
Gambar 2.5 Sawi Huma	13
Gambar 2.6 Sawi Caisim.....	13
Gambar 2.7 Sawi Keriting.....	14
Gambar 2.8 Sawi Monumen	14
Gambar 2.9 Sawi Pakcoy	15
Gambar 2.10 ESP32 DevKit V1	19
Gambar 2.11 Sensor pH Meter 4502C	21
Gambar 2.12 Sensor Ultrasonic HC-SR04.....	22
Gambar 2.13 Sensor TDS SEN0244.....	23
Gambar 2.14 Sensor Water Level	24
Gambar 2.15 Sensor DHT22.....	26
Gambar 2.16 Adaptor DC 12V 3A	27
Gambar 2.17 <i>Step Down LM2596</i>	28
Gambar 2.18 <i>Liquid Crystal Liquid I2C 16x2</i>	29
Gambar 2.19 <i>Micro Submersible Water Pump</i>	30
Gambar 2.20 Pompa Utama YP-104.....	31
Gambar 2.21 TDS Meter TDS-3	33
Gambar 2.22 <i>pH Meter Lutron pH-208</i>	34
Gambar 2.23 <i>Arduino IoT Cloud</i>	35
Gambar 2.24 Arduino IDE.....	40
Gambar 2.25 Metode Prototype Menurut Roger S. Pressman.....	42
Gambar 2.26 Koefisien Korelasi Pearson	51
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	65

Gambar 4.1 Use Case Diagram.....	75
Gambar 4.2 Activity Diagram Login	77
Gambar 4.3 Activity Diagram Resgister.....	78
Gambar 4.4 Activity Diagram Mengubah Data Akun	79
Gambar 4.5 Activity Diagram Mengelola Akun Pengguna	80
Gambar 4.6 Activity Diagram Melihat Data Sensor Real-time	81
Gambar 4.7 Activity Diagram Mengontrol Pompa.....	82
Gambar 4.8 Activity Diagram Menerima Notifikasi Peringatan	83
Gambar 4.9 Rancangan Arsitektur Diagram.....	84
Gambar 4.10 Arsitektur Sistem Pada Hidroponik	86
Gambar 4.11 Arsitektur Komunikasi Data	87
Gambar 4.12 Wiring Diagram.....	90
Gambar 4.13 Tampilan Halaman Home	92
Gambar 4.14 Tampilan Menu Account.....	93
Gambar 4.15 Tampilan Halaman Sketches	93
Gambar 4.16 Tampilan Isi Sketch.....	94
Gambar 4.17 Tampilan Halaman Device.....	94
Gambar 4.18 Tampilan Isi Device	95
Gambar 4.19 Tampilan Halaman Things	95
Gambar 4.20 Tampilan Isi Things	96
Gambar 4.21 Tampilan Halaman Dashboard.....	96
Gambar 4.22 Tampilan Isi Dashboard	97
Gambar 4.23 Proses Soldering.....	103
Gambar 4.24 Penyambungan Catu Daya ke Komponen.....	104
Gambar 4.25 Halaman Awal Arduino IoT Cloud.....	105
Gambar 4.26 Memulai Pendaftaran	105
Gambar 4.27 Pendaftaran Akun.....	106
Gambar 4.28 Halaman Device	107
Gambar 4.29 Setup Device	107
Gambar 4.30 Setting Device	108
Gambar 4.31 Secret Key	109
Gambar 4.32 Status Device.....	109

Gambar 4.33 Halaman Things	110
Gambar 4.34 Associate Device	110
Gambar 4.35 Menambahkan Variabel	111
Gambar 4.36 Halaman Sketch Program Utama	113
Gambar 4.37 Halaman Sketch Thing Properties.....	113
Gambar 4.38 Halaman Dashboard	114
Gambar 4.39 Tampilan Widget.....	114
Gambar 4.40 Tampilan Dashboard Mobile.....	115
Gambar 4.41 Tampilan Dashboard Browser.....	116
Gambar 4.42 Halaman Trigger	116
Gambar 4.43 Konfigurasi Trigger.....	117
Gambar 4.44 Penggunaan Library Iterasi ke-1	118
Gambar 4.45 GPIO Ultrasonic	118
Gambar 4.46 GPIO DHT22	119
Gambar 4.47 GPIO Water Level.....	119
Gambar 4.48 GPIO Total Dissolve Solid (TDS)	119
Gambar 4.49 GPIO pH.....	120
Gambar 4.50 GPIO Relay	120
Gambar 4.51 Inisialisasi Ambang Batas Ultrasonic dan Water Level.....	121
Gambar 4.52 Inisialisasi Timer Relay.....	121
Gambar 4.53 Inisialisasi Ambang Batas Nutrisi dan pH	122
Gambar 4.54 Inisialisasi Komunikasi Serial dan Inisialisasi Relay LOW.....	122
Gambar 4.55 Inisialisasi pinMode	123
Gambar 4.56 Inisialisasi Koneksi ke Arduino IoT Cloud.....	124
Gambar 4.57 Inisialisasi Sensor TDS	124
Gambar 4.58 Algoritma Sensor pH.....	125
Gambar 4.59 Algoritma Sensor TDS	126
Gambar 4.60 Akuisisi Data Sensor DHT22.....	127
Gambar 4.61 Akuisisi Data Sensor Ultrasonic	127
Gambar 4.62 Konversi Nilai Analog Water Level pH dan Nutrisi menjadi Persentase.....	128
Gambar 4.63 Memberi Nilai Variabel Things dengan Nilai Pembacaan Sensor	129

Gambar 4.64 Logika Notifikasi Status pH.....	129
Gambar 4.65 Logika Notifikasi Status Nutrisi.....	130
Gambar 4.66 Logika Notifikasi Status Tangki Utama.....	130
Gambar 4.67 Logika Notifikasi Status Tangki pH dan Nutrisi.....	131
Gambar 4.68 Logika Otomatis Menonaktifkan Pompa pH dan Nutrisi.....	132
Gambar 4.69 Logika Otomatis Menonaktifkan Pompa Utama.....	133
Gambar 4.70 Fungsi dari Things.....	134
Gambar 4.71 Library pada thingsProperties.h	135
Gambar 4.72 Inisialisasi Kredensial Jaringan dan Perangkat	135
Gambar 4.73 Deklarasi Fungsi untuk Kontrol dan Notifikasi Cloud.....	136
Gambar 4.74 Daftar Variabel yang Terhubung dengan Dashboard Arduino IoT Cloud.....	137
Gambar 4.75 Konfigurasi Sinkronisasi Variabel dengan Arduino IoT Cloud....	138
Gambar 4.76 Inisialisasi Objek Connection Handler untuk Koneksi Wi-Fi.....	139
Gambar 4.77 Use Case Diagram Iterasi ke-2.....	145
Gambar 4.78 Activity Diagram Login Iterasi ke-2	147
Gambar 4.79 Activity Diagram Register Akun Iterasi ke-2	148
Gambar 4.80 Activity Diagram Mengubah Data Akun Iterasi ke-2	149
Gambar 4.81 Activity Diagram Mengelola Akun Pengguna Iterasi ke-2.....	150
Gambar 4.82 Activity Diagram Melihat Data dan Status Sensor Iterasi ke-2	151
Gambar 4.83 Activity Diagram Mengontrol Aktuator Iterasi ke-2.....	152
Gambar 4.84 Activity Diagram Menerima Notifikasi Peringatan Iterasi ke-2 ...	153
Gambar 4.85 Rancangan Arsitektur Diagram Iterasi ke-2.....	154
Gambar 4.86 Arsitektur Sistem Pada Hidroponik Iterasi ke-2	155
Gambar 4.87 Wiring Diagram Iterasi ke-2	160
Gambar 4.88 Tampilan Dashboard Website	161
Gambar 4.89 Penambahan Thing Indikator Status Sensor.....	162
Gambar 4.90 Tampilan Dashboard Website Iterasi ke-2	163
Gambar 4.91 Tampilan Dashboard Mobile Iterasi ke-2.....	163
Gambar 4.92 Library yang Digunakan Iterasi ke-2	164
Gambar 4.93 Inisialisasi LCD	164
Gambar 4.94 Pemanggilan Fungsi LCD	165

Gambar 4.95 Penambahan LCD Pada Logika Kontrol Status pH dan Nutrisi ...	166
Gambar 4.96 Penambahan LCD pada Logika Status Tangki Utama.....	167
Gambar 4.97 Penambahan LCD pada Logika Status Tangki pH dan Nutrisi.....	168
Gambar 4.98 Penambahan LCD pada Logika Otomatis Pompa pH dan Pompa Nutrisi	169
Gambar 4.99 Otomasi Siklus Pompa Sirkulasi.....	170
Gambar 4.100 Deklarasi Fungsi untuk Kontrol dan Notifikasi Cloud Iterasi Ke-2	171
Gambar 4.101 Daftar Variabel yang Terhubung dengan Dashboard Arduino IoT Cloud Iterasi Ke-2.....	172
Gambar 4.102 Konfigurasi Sinkronisasi Variabel dengan Arduino IoT Cloud Iterasi Ke-2	173
Gambar 4.103 Perbandingan Data pH Sensor 4502C dan pH Meter Lutron pH 208	177
Gambar 4.104 Galat Absolut (pH Meter – pH Sensor) per Titik Pengujian.....	178
Gambar 4.105 Perbandingan Data Sensor TDS SEN0244 dan TDS Meter TDS-3	181
Gambar 4.106 Galat Absolut (TDS Meter – TDS Sensor) per Titik Pengujian .	181
Gambar 4.107 Tampilan Dashboard pH	191
Gambar 4.108 Tampilan pH Asam dan Indikator Berubah Merah.....	191
Gambar 4.109 Tampilan Notifikasi pH.....	192
Gambar 4.110 Tampilan Dashboard Nutrisi	195
Gambar 4.111 Tampilan Nutrisi Rendah	195
Gambar 4.112 Tampilan Notifikasi Nutrisi	195
Gambar 4.113 Tampilan Dashboard Tangki Utama	198
Gambar 4.114 Tampilan Tangki Utama Kurang.....	198
Gambar 4.115 Tampilan Notifikasi Tangki Kosong.....	199
Gambar 4.116 Tampilan Tangki pH Kurang	202
Gambar 4.117 Tampilan Tangki pH Normal	202
Gambar 4.118 Tampilan Notifikasi Tangki pH Kosong.....	202
Gambar 4.119 Tampilan Tangki Nutrisi Normal.....	205
Gambar 4.120 Tampilan Tangki Nutrisi Rendah.....	205

Gambar 4.121 Tampilan Notifikasi Tangki Nutrisi	206
Gambar 4.122 Tren Data pH Treatment Konvensional	214
Gambar 4.123 Tren Data pH 18 Agustus.....	215
Gambar 4.124 Tren Data pH 19 Agustus.....	215
Gambar 4.125 Tren Data pH 20 Agustus.....	216
Gambar 4.126 Tren Data pH 21 Agustus.....	216
Gambar 4.127 Tren Data pH 22 Agustus.....	217
Gambar 4.128 Tren Data pH 23 Agustus.....	217
Gambar 4.129 Tren Data pH 24 Agustus.....	218
Gambar 4.130 Tren Data TDS <i>Treatment</i> Konvensional	219
Gambar 4.131 Tren Data TDS 18 Agustus	220
Gambar 4.132 Tren Data TDS 19 Agustus	220
Gambar 4.133 Tren Data TDS 20 Agustus	221
Gambar 4.134 Tren Data TDS 21 Agustus	222
Gambar 4.135 Tren Data TDS 22 Agustus	223
Gambar 4.136 Tren Data TDS 23 Agustus	224
Gambar 4.137 Tren Data TDS 24 Agustus	225
Gambar 4.138 Tren Data DHT22 Suhu Treatment Konvensional.....	226
Gambar 4.139 Tren Data Suhu 18 Agustus	227
Gambar 4.140 Tren Data Suhu 19 Agustus	228
Gambar 4.141 Tren Data Suhu 20 Agustus	228
Gambar 4.142 Tren Data Suhu 21 Agustus	229
Gambar 4.143 Tren Data Suhu 22 Agustus	230
Gambar 4.144 Tren Data Suhu 23 Agustus	230
Gambar 4.145 Tren Data Suhu 24 Agustus	231
Gambar 4.146 Tren Data DHT22 Kelembapan Treatment Konvensional.....	232
Gambar 4.147 Tren Data Kelembapan 18 Agustus	233
Gambar 4.148 Tren Data Kelembapan 19 Agustus	233
Gambar 4.149 Tren Data Kelembapan 20 Agustus	234
Gambar 4.150 Tren Data Kelembapan 21 Agustus	235
Gambar 4.151 Tren Data Kelembapan 22 Agustus	235
Gambar 4.152 Tren Data Kelembapan 23 Agustus	236

Gambar 4.153 Tren Data Kelembapan 24 Agustus	237
Gambar 4.154 Tren Data pH Treatment Penelitian	239
Gambar 4.155 Tren Data pH 2 September	240
Gambar 4.156 Tren Data pH 3 September	240
Gambar 4.157 Tren Data pH 4 September	241
Gambar 4.158 Tren Data pH 5 September	241
Gambar 4.159 Tren Data pH 7 September	242
Gambar 4.160 Tren Data pH 6 September	242
Gambar 4.161 Tren Data pH 8 September	243
Gambar 4.162 Tren Data TDS <i>Treatment</i> Penelitian.....	243
Gambar 4.163 Tren Data TDS 2 September	244
Gambar 4.164 Tren Data TDS 3 September	245
Gambar 4.165 Tren Data TDS 4 September	245
Gambar 4.166 Tren Data TDS 5 September	246
Gambar 4.167 Tren Data TDS 6 September	246
Gambar 4.168 Tren Data TDS 7 September	247
Gambar 4.169 Tren Data TDS 8 September	247
Gambar 4.170 Tren Data DHT22 Suhu Treatment Penelitian.....	248
Gambar 4.171 Tren Data Suhu 2 September	249
Gambar 4.172 Tren Data Suhu 3 September	249
Gambar 4.173 Tren Data Suhu 4 September	250
Gambar 4.174 Tren Data Suhu 5 September	250
Gambar 4.175 Tren Data Suhu 6 September	251
Gambar 4.176 Tren Data Suhu 7 September	251
Gambar 4.177 Tren Data Suhu 8 September	252
Gambar 4.178 Tren Data DHT22 Kelembapan Treatment Penelitian.....	252
Gambar 4.179 Tren Data Kelembapan 2 September	253
Gambar 4.180 Tren Data Kelembapan 3 September	254
Gambar 4.181 Tren Data Kelembapan 4 September	254
Gambar 4.182 Tren Data Kelembapan 5 September	255
Gambar 4.183 Tren Data Kelembapan 6 September	255
Gambar 4.184 Tren Data Kelembapan 7 September	256

Gambar 4.185 Tren Data Kelembapan 8 September	256
Gambar 4.186 Rumus Koefisien Korelasi Pearson.....	257
Gambar 4.187 Grafik Korelasi Data Suhu vs TDS 7 September	258
Gambar 4.188 Grafik Korelasi Data TDS vs Kelembaban 7 September	260
Gambar 4.189 Grafik Korelasi Data Suhu vs Kelembaban 7 September	261
Gambar 4.190 Grafik Korelasi Data TDS vs pH 7 September	262
Gambar 4.191 Grafik Korelasi Data Suhu vs pH 7 September.....	263
Gambar 4.192 Grafik Korelasi Data pH vs Kelembaban 7 September.....	264
Gambar 4.193 Penempatan Box Beserta Komponen Pada Hidroponik.....	265
Gambar 4.194 Penempatan Sensor pH, Sensor TDS, dan Sensor Ultrasonic	266
Gambar 4.195 Tinggi Batang Sawi Pakcoy Konvensional.....	271
Gambar 4.196 Tinggi Batang Sawi Pakcoy Penelitian	271
Gambar 4.197 Sawi Pakcoy Konvensional.....	272
Gambar 4.198 Sawi Pakcoy Penelitian	272

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Zat gizi dalam 100g tanaman sawi.....	10
Tabel 2.2 Spesifikasi Mikrokontroler <i>ESP32 DevKit V1</i> [22]	19
Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor <i>pH Meter 4502C</i> [23]	21
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor <i>Ultrasonic HC-SR04</i> [24]	22
Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor TDS SEN0244	24
Tabel 2.6 Spesifikasi <i>Water Level</i>	25
Tabel 2.7 Spesifikasi DHT22	26
Tabel 2.8 Spesifikasi Adaptor DC 12V	27
Tabel 2.9 Spesifikasi <i>Step Down LM2596</i>	28
Tabel 2.10 Spesifikasi LCD I2C 16x2	29
Tabel 2.11 Spesifikasi Micro Submersible Water Pump	31
Tabel 2.12 Spesifikasi Pompa YP-104.....	32
Tabel 2.13 Spesifikasi TDS Meter TDS-3	33
Tabel 2.14 Spesifikasi pH Meter Lutron pH-208	35
Tabel 2.15 Perbedaan Blynk dan Arduino IoT Cloud	36
Tabel 2.16 Harga Subscription Blynk.....	39
Tabel 2.17 Harga Subscription Arduino IoT Cloud.....	39
Tabel 2.18 Komponen Use Case	44
Tabel 2.19 Jenis Hubungan Use case	45
Tabel 2.20 Komponen Activity Diagram	47
Tabel 2.21 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi	52
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	60
Tabel 3.2 Alat Penelitian.....	61
Tabel 3.3 Bahan Penelitian	64
Tabel 4.1 Kebutuhan Fungsional Iterasi 1	72
Tabel 4.2 Kebutuhan Non Fungsional Iterasi 1	73

Tabel 4.3 Kebutuhan Pengguna Iterasi 1	74
Tabel 4.4 Definisi Use Case Diagram Iterasi 1	76
Tabel 4.5 Skenario Kalibrasi Sensor pH	98
Tabel 4.6 Skenario Kalibrasi Sensor TDS	99
Tabel 4.7 Umpan Balik Iterasi 1	141
Tabel 4.8 Kebutuhan Fungsional Iterasi ke-2	142
Tabel 4.9 Kebutuhan Pengguna Iterasi ke-2	144
Tabel 4.10 Definisi Use Case Diagram Iterasi ke-2.....	146
Tabel 4.11 Komponen Arsitektur Sistem.....	156
Tabel 4.12 Pengujian Sensor pH 4502C	176
Table 4.13 Data Pengujian Sensor TDS.....	180
Tabel 4.14 Skenario Pengujian Sensor DHT22	183
Tabel 4.15 Skenario Pengujian Sensor Ultrasonic HC-SR04	186
Tabel 4.16 Skenario Pengujian Sensor Water Level.....	187
Tabel 4.17 Skenario Uji Notifikasi dan Indikator Kadar pH	189
Tabel 4.18 Hasil Pegujian Sensor pH	190
Tabel 4.19 Skenario Uji Notifikasi dan Indikator Kadar Nutrisi	193
Tabel 4.20 Hasil Pegujian Sensor TDS.....	193
Tabel 4.21 Skenario Uji Notifikasi dan Indikator Tangki Utama.....	196
Tabel 4.22 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonic.....	197
Tabel 4.23 Skenario Uji Notifikasi dan Indikator Tangki pH.....	200
Tabel 4.24 Hasil Pengujian Sensor Water Level	200
Tabel 4.25 Skenario Uji Notifikasi dan Indikator Tangki Nutrisi	203
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Sensor Water Level	204
Tabel 4.27 Skenario Uji Pompa Utama.....	207
Tabel 4.28 Hasil Pengujian Pompa Utama	207
Tabel 4.29 Skenario Uji Pompa pH	209
Tabel 4.30 Hasil Pengujian Pompa pH	210
Tabel 4.31 Skenario Uji Pompa Nutrisi	211
Tabel 4.32 Hasil Pengujian Pompa Nutrisi	212
Tabel 4.33 Korelasi Pearson Data TDS vs Suhu Udara.....	258
Tabel 4.34 Korelasi Pearson Data TDS vs Kelembapan Udara.....	259

Tabel 4.35 Korelasi Data Suhu Udara vs Kelembapan Udara	260
Tabel 4.36 Korelasi Data TDS vs pH.....	261
Tabel 4.37 Korelasi Data pH vs Suhu Udara	262
Tabel 4.38 Korelasi Data pH vs Kelembapan Udara	263
Tabel 4.39 Aspek Efesiensi Pemeliharaan	267
Tabel 4.40 Perbandingan Hasil Pertumbuhan Sawi Pakcoy	270

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor vital yang berperan penting dalam memenuhi kebutuhan pangan global. Seiring dengan pertumbuhan populasi dan keterbatasan lahan, inovasi dalam metode pertanian menjadi semakin krusial. Salah satu metode yang mendapatkan perhatian adalah hidroponik, yaitu teknik bercocok tanam tanpa menggunakan tanah, melainkan memanfaatkan larutan nutrisi yang kaya mineral. Hidroponik menawarkan berbagai keuntungan, seperti efisiensi penggunaan air, pertumbuhan tanaman yang lebih cepat, dan hasil panen yang lebih berkualitas karena lingkungan tumbuh yang terkontrol.[1] Tanaman sawi pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) adalah salah satu komoditas hortikultura yang populer dibudidayakan secara hidroponik karena masa panennya yang relatif singkat dan permintaan pasar yang tinggi. [2]

Hidroponik merupakan salah satu cara bertani untuk menumbuhkan tanaman tanpa menggunakan media tanah, melainkan menggunakan larutan nutrisi cair. Manfaat dari metode pertanian hidroponik meliputi pengurangan biaya tenaga kerja dan biaya lahan, karena petani tidak perlu mempersiapkan tanah yang luas seperti pertanian pada umumnya, dan penyiraman serta pemupukan umumnya terjadi secara otomatis dalam sistem hidroponik. [3] Tanaman yang dapat ditanam menggunakan media hidroponik antara lain bunga (seperti : krisan, gerbera, anggrek, dan kaktus), sayur – sayuran (seperti : selada, sawi, tomat, wortel, asparagus, brokoli, cabe dan terong), buah – buahan (seperti : melon, tomat, mentimun, semangka, stawberri) dan juga umbi-umbian. [4] Umumnya sayuran yang banyak ditanam oleh masyarakat pada media hidroponik adalah sawi dan pakcoy dikarenakan dapat dipanen setiap 40-60 hari dan tidak bergantung pada musim dan juga mudah dalam pemeliharaannya. [5]

Meskipun hidroponik menawarkan banyak keunggulan, tantangan dalam pemeliharaan tetap ada, terutama dalam hal pemantauan dan pengendalian parameter lingkungan yang optimal seperti pH, larutan nutrisi, suhu, dan kelembaban. Pemantauan manual seringkali memakan waktu, tidak efisien, dan rentan terhadap kesalahan manusia, yang dapat berdampak negatif pada pertumbuhan dan kualitas tanaman. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang lebih otomatis dan akurat untuk memastikan kondisi pertumbuhan yang ideal secara konsisten. Seiring dengan perkembangan teknologi, *Internet of Things (IoT)* telah muncul sebagai paradigma baru yang memungkinkan objek fisik terhubung dan bertukar data melalui internet. Dalam konteks pertanian, IoT dapat merevolusi praktik pertanian tradisional menjadi pertanian cerdas (*Smart Farming*) dengan memungkinkan pemantauan *real-time*, analisis data, dan otomatisasi proses.[6] Integrasi sensor, aktuator, dan *platform cloud* memungkinkan petani untuk mengelola pertanian mereka dari jarak jauh, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. *Arduino*, sebagai *platform* mikrokontroler open-source yang populer, menjadi pilihan yang ideal untuk membangun sistem IoT karena fleksibilitas, kemudahan penggunaan, dan dukungan komunitas yang luas. *Arduino IoT Cloud* menyediakan solusi komprehensif untuk menghubungkan perangkat *Arduino* ke internet, mengumpulkan data sensor, mengontrol aktuator, dan memvisualisasikan data melalui *dashboard* yang intuitif. *Platform* ini menyederhanakan proses pengembangan aplikasi IoT, memungkinkan pengguna untuk fokus pada logika aplikasi daripada kompleksitas infrastruktur jaringan.[7] Dengan memanfaatkan *Arduino IoT Cloud*, sistem pemeliharaan hidroponik dapat ditingkatkan menjadi lebih cerdas dan efisien, memungkinkan pemantauan dan pengendalian otomatis parameter kunci untuk pertumbuhan sawi pakcoy.

Perbedaan dari penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah pada metode yang digunakan. Penelitian-penelitian sebelumnya banyak yang menggunakan metode *Waterfall*, *Agile*, *Experimental*, *Prototype*, dan lainnya. Pada penelitian ini menggunakan metode *Prototype* sebagai metode pengembangan sistemnya dikarenakan metode *Prototype* cocok untuk diterapkan pada penelitian yang

kebutuhan sistemnya belum diketahui dengan pasti dan butuh perulangan dan komunikasi dengan pengguna. Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini berfokus untuk mengendalikan kandungan pH dan nutrisi yang ada dalam air, sedangkan penelitian sebelumnya hanya untuk mengendalikan pH saja.[8] Penelitian ini juga menggunakan *Arduino IoT* sebagai *platform* yang menampilkan data *real-time* dan juga pengontrolan sistem tidak seperti pada penelitian sebelumnya.[9]

Berdasarkan kondisi tersebut, penulis menawarkan inovasi untuk permasalahan tersebut melalui *Smart Farming* pada sistem hidroponik yang akan menerapkan penggunaan IoT dalam monitoring nutrisi dan pH air untuk media yang digunakan, suhu dan kelembapan lingkungan, dan kadar air pada wadah yang akan mengoptimalkan hasil panen. Aplikasi *Smart Farming* menggunakan *Arduino IoT Cloud* dapat berguna dalam memantau lingkungan hidroponik. Pembacaan sensor suhu, sensor pH dan sensor lainnya dapat dilihat pada *smartphone* melalui *Arduino IoT Cloud*, untuk memantau kualitas lingkungan hidroponik agar mudah menyelesaikan permasalahan dalam pertanian hidroponik secara *real-time* meskipun pemiliknya jauh dari lokasi tanaman. [10] *Smart Farming* dapat dikembangkan menggunakan perangkat *Arduino*, ESP, dan *Arduino IoT Cloud*. *Arduino* merupakan perangkat yang handal dan mudah dikembangkan karena bersifat *open source*. Selain itu, sistem harus terintegrasi dengan sensor dan aktuator agar dapat bekerja secara optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun tersebut, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan sistem pemeliharaan hidroponik tanaman sawi menggunakan *internet of things* berbasis *Arduino IoT Cloud*?
2. Berapa persen peningkatan efisiensi pemeliharaan dan pemantauan tanaman sawi pakcoy dalam sistem hidroponik NFT yang dicapai melalui implementasi teknologi IoT dan *Arduino IoT Cloud* dibandingkan dengan metode pemeliharaan konvensional?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem pemeliharaan hidroponik yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang dapat memantau kondisi lingkungan tanaman.
2. Menganalisis efisiensi integrasi teknologi IoT pada sistem hidroponik tanaman sawi dalam memantau dan mengontrol kondisi pertumbuhan tanaman.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) dikembangkan untuk mempermudah pemantauan kondisi lingkungan tanaman sawi secara otomatis, sehingga efisiensi pemeliharaan dapat ditingkatkan.
2. Sistem pemeliharaan tanaman hidroponik yang lebih akurat dan responsif, memungkinkan penyesuaian kondisi lingkungan tanaman secara *real-time* berdasarkan hasil pembacaan sensor.
3. Risiko gagal panen berkurang melalui penerapan sistem pemantauan otomatis yang dapat mendeteksi perubahan kondisi lingkungan tanaman lebih awal, sehingga tindakan cepat dapat diambil untuk menjaga kualitas dan kesehatan tanaman.
4. Memberikan kontribusi pada implementasi teknologi IoT di sektor pertanian, khususnya dalam penerapan sistem hidroponik pintar yang lebih efisien.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian sistem dilakukan hanya pada satu siklus masa tanam sawi pakcoy, dimulai dari pemindahan bibit hingga masa panen (± 30 hari setelah masa tanam).
2. Pengujian terbatas pada tanaman sawi pakcoy dengan metode hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*).
3. Lokasi pengujian terbatas pada ruang semi-outdoor dengan atap jaring tanpa

dinding permanen dan kondisi lingkungan berupa suhu dan kelembaban udara tidak dikendalikan secara aktif, hanya dilakukan pemantauan.

4. Bibit yang digunakan berumur 14 hari setelah semai dengan tinggi seragam.
5. Evaluasi keberhasilan sistem diukur dari:
 - A. Efisiensi waktu dan tenaga petani dalam memantau dan menyesuaikan nutrisi dan pH.
 - B. Kualitas Pertumbuhan Tanaman:
 - a. Tinggi tanaman
 - b. Jumlah daun
 - c. Lebar daun
 - d. Warna daun

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini terdiri beberapa bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian rancang bangun sistem pemeliharaan sawi menggunakan *Internet of Things* berbasis *Arduino IoT Cloud*. Bab ini diharapkan dapat memberikan pemahaman awal kepada pembaca mengenai konteks, tujuan, dan gambaran mengenai hal yang akan dibahas pada penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menguraikan konsep, teori dasar, dan prinsip yang digunakan untuk memahami penelitian rancang bangun sistem pemeliharaan sawi menggunakan *Internet of Things* berbasis *Arduino IoT Cloud*. Bab ini juga menjelaskan penelitian terkait yang menjadi acuan dan referensi dalam menjalankan penelitian. Bab ini diharapkan dapat memberikan landasan teoritis dan konteks untuk memahami penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan, jadwal, waktu, tempat penelitian dilaksanakan, alat dan bahan yang digunakan, serta alur tahapan yang dilakukan dalam penelitian rancang bangun sistem pemeliharaan sawi menggunakan *Internet of Things* berbasis *Arduino IoT Cloud*.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil rancangan sistem pemeliharaan sawi menggunakan *Internet of Things* berbasis *Arduino IoT Cloud* yang dibangun dengan metode *Prototype*. Selain itu, bab ini juga menguraikan hasil analisis pengujian dan penilaian sistem. Bab ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang rancangan dan hasil evaluasi sistem.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi Kesimpulan yang mencakup analisis hasil pengujian sistem. Selain itu, bab ini menuntut Saran teknis yang bersumber dari temuan data yang ada. Rekomendasi ini ditunjukkan untuk penyempurnaan kinerja sistem IoT secara keseluruhan, sehingga pengembangan lebih lanjut mencapai hasil yang lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidroponik

Hidroponik berasal dari kata Yunani, yaitu '*hydro*' yang berarti air dan '*ponos*' yang berarti kerja. Secara harfiah, hidroponik dapat diartikan sebagai budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, melainkan menggunakan air sebagai media utama yang diperkaya dengan larutan nutrisi. Metode ini memungkinkan akar tanaman menyerap nutrisi langsung dari larutan, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih efisien dan terkontrol.[1] Konsep dasar hidroponik adalah menyediakan semua unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam bentuk larutan yang mudah diserap oleh akar, tanpa ketergantungan pada kesuburan tanah. Sejarah hidroponik dapat ditelusuri kembali ke zaman kuno, seperti Taman Gantung Babilonia yang dipercaya menggunakan sistem serupa. Namun, pengembangan modern hidroponik dimulai pada awal abad ke-20 dengan penelitian oleh ilmuwan seperti Dr. W.F. Gericke dari University of California yang mempopulerkan istilah hidroponik. Keunggulan utama hidroponik meliputi efisiensi penggunaan air hingga 90% dibandingkan pertanian konvensional, pertumbuhan tanaman yang lebih cepat, hasil panen yang lebih tinggi, kualitas produk yang lebih baik, serta kemampuan untuk bercocok tanam di lahan terbatas atau tidak subur.[11] Selain itu, hidroponik juga mengurangi risiko serangan hama dan penyakit yang berasal dari tanah, serta meminimalkan penggunaan pestisida.

2.1.1 Jenis-jenis Sistem Hidroponik

Ada berbagai jenis sistem hidroponik yang dikembangkan berdasarkan cara pemberian nutrisi dan media tanam yang digunakan. Setiap sistem memiliki karakteristik, kelebihan, dan kekurangannya masing-masing. Beberapa jenis sistem hidroponik yang umum digunakan antara lain:

1. Sistem *Wick* (Sumbu): Ini adalah sistem hidroponik pasif yang paling sederhana dan cocok untuk pemula. Larutan nutrisi diserap dari reservoir ke media

tanam melalui sumbu (*wick*) kain flanel atau bahan penyerap lainnya. Sistem ini tidak memerlukan pompa atau listrik, namun laju penyerapan nutrisi mungkin terbatas.[12]

2. Sistem *Deep Water Culture* (DWC) / Rakit Apung: Dalam sistem ini, akar tanaman direndam langsung dalam larutan nutrisi yang kaya oksigen. Tanaman ditempatkan pada lubang-lubang di atas *styrofoam* atau papan yang mengapung di atas larutan nutrisi. Aerator digunakan untuk menyediakan oksigen bagi akar. Sistem ini relatif mudah dioperasikan dan cocok untuk tanaman yang membutuhkan banyak air.[13]

3. Sistem *Nutrient Film Technique* (NFT): Sistem NFT mengalirkan lapisan tipis larutan nutrisi secara terus-menerus melalui saluran miring tempat akar tanaman berada. Lapisan tipis ini memastikan akar mendapatkan nutrisi dan oksigen yang cukup. Sistem ini efisien dalam penggunaan nutrisi dan air, serta cocok untuk tanaman berdaun seperti selada dan sawi seperti pada Gambar 2.1.[14]



Gambar 2.1 Hidroponik NFT

4. Sistem *Drip* (Tetes): Sistem ini menggunakan pompa untuk mengalirkan larutan nutrisi dari reservoir ke setiap tanaman melalui selang kecil dan penetes (*dripper*). Larutan nutrisi kemudian diserap oleh media tanam inert seperti *rockwool*, *cocopeat*, atau *perlite*. Sistem ini sangat efisien dalam penggunaan air dan nutrisi, serta dapat diatur secara otomatis dengan *timer*. [15]

5. Sistem *Ebb and Flow* (Pasang Surut) / *Flood and Drain*: Sistem ini bekerja dengan membanjiri media tanam dengan larutan nutrisi secara periodik, kemudian mengurasnya kembali ke reservoir. Proses pasang surut ini memastikan akar mendapatkan nutrisi dan oksigen secara bergantian. Sistem ini cocok untuk

berbagai jenis tanaman dan media tanam.[16]

6. Sistem *Aeroponik*: Ini adalah sistem hidroponik yang paling canggih, di mana akar tanaman digantung di udara dan disemprotkan kabut larutan nutrisi secara berkala. Sistem ini memaksimalkan penyerapan oksigen oleh akar, menghasilkan pertumbuhan tanaman yang sangat cepat dan hasil panen yang tinggi. Namun, sistem aeroponik memerlukan peralatan yang lebih kompleks dan pemeliharaan yang lebih intensif.[17]

2.2 Sawi



Gambar 2.2 Sawi Pakcoy

Sawi (Gambar 2.2) telah menjadi sayuran yang mendapat tempat khusus di masyarakat Indonesia, terutama karena rasanya yang dapat diterima berbagai kalangan dan manfaat kesehatannya. Budidaya sawi di Indonesia sangat potensial karena didukung oleh kondisi agroklimatologis yang sesuai, serta aspek teknis, ekonomis, dan sosial yang mendukung. Teknik penanamannya pun relatif mudah, mirip dengan cara budidaya kubis atau petsai. Dalam konteks konsumen, sawi memiliki pangsa pasar yang luas, namun secara khusus sangat diminati oleh komunitas Tionghoa. Di dunia kuliner Indonesia, sawi sering diolah menjadi berbagai hidangan Tionghoa yang lezat. Sayuran ini dikenal dengan beberapa nama lokal, seperti "sasawi" dalam bahasa Sunda, sementara dalam konteks internasional dikenal sebagai *mustard* (green/chinese/indian/sarepta mustard).

Menurut data yang tertera dalam daftar komposisi makanan yang diterbitkan oleh Direktorat Gizi Departemen Kesehatan, komposisi zat-zat makanan yang terkandung dalam setiap 100 g berat basah sawi dapat dilihat pada Tabel 2.1 Zat gizi dalam 100g tanaman sawi berikut.

Tabel 2.1 Zat gizi dalam 100g tanaman sawi

Zat Gizi	Sawi
Protein (g)	2,3
Lemak (g)	0,3
Karbohidrat (g)	4,0
Zat Gizi	Sawi
Ca (mg)	220,0
P (mg)	38,0
Fe (mg)	2,9
Vitamin A (mg)	1.940,0
Vitamin B (mg)	0,09
Vitamin C (mg)	102

Sumber : Direktorat Gizi, Departemen Kesehatan RI, 1979

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 Zat gizi dalam 100g tanaman sawi, sawi memiliki kandungan gizi dan vitamin yang penting bagi kesehatan. Sawi juga dipercaya dapat menghilangkan rasa gatal di tenggorokan pada penderita batuk. Sawi yang dikonsumsi berfungsi pula sebagai penyembuh sakit kepala. Dipercayai juga mampu bekerja sebagai bahan pembersih darah. Penderita penyakit ginjal dianjurkan untuk banyak mengonsumsi sawi karena dapat membantu memperbaiki fungsi kerja ginjal. [18]

2.2.1 Klasifikasi Tanaman Sawi

Dalam sistem taksonomi tumbuhan, klasifikasi dilakukan secara hierarki mulai dari kelompok terbesar hingga terkecil, yaitu: *divisio* (divisi), *class* (kelas), *ordo* (bangsa), *famili* (keluarga), *genus* (marga), dan spesies (jenis). Semakin besar

tingkatan klasifikasi, semakin banyak karakteristik yang dimiliki. Lebih lanjut, dalam klasifikasi yang lebih rinci, setiap tingkatan tersebut masih dapat dibagi menjadi sub-tingkatan yang lebih spesifik, dan spesies sendiri dapat terbagi menjadi beberapa varietas.

Klasifikasi sawi

- *Divisi* : *Spermatophyta*
- *Subdivisi* : *Angiospermae*
- *Class* : *Dicotyledonae*
- *Ordo* : *Rhoeadales (Brassicales)*
- *Famili* : *Cruciferae (Brassicaceae)*
- *Genus* : *Brassica*
- *Spesies* : *Brassica juncea*

2.2.2 Jenis-Jenis Tanaman Sawi

Tanaman sawi memiliki keunikan morfologi dengan karakteristik daun yang lonjong, permukaan halus tanpa bulu, dan struktur yang tidak membentuk krop. Dalam perkembangan budidayanya di Indonesia, varietas sawi mengalami diversifikasi yang menarik. Awalnya, petani lokal hanya mengenal tiga jenis utama: sawi putih, sawi hijau, dan sawi huma. Namun seiring waktu, masyarakat mulai mengenal varietas lain seperti caisim (sawi bakso), sawi keriting, sawi monument, dan pakcoy.

2.2.2.1 Sawi Putih atau Sawi Jabung

Di antara berbagai jenis tersebut, sawi putih atau sawi jabung pada Gambar 2.3 mendapat tempat istimewa di preferensi konsumen karena cita rasanya yang paling memanjakan lidah. Varietas ini memiliki karakteristik daun lebar berwarna hijau tua ketika matang, dengan tangkai yang panjang namun lemas dan halus, serta batang pendek yang tegap. Varietas ini, yang mencakup *rugosa roxb* dan *prain*, menunjukkan performa optimal pada ketinggian 500-1.000 meter di atas permukaan laut.



Gambar 2.3 Sawi Putih

2.2.2.2 Sawi Hijau atau Sawi Asin

Sementara itu, sawi hijau atau sawi asin pada Gambar 2.4 memiliki cerita yang berbeda. Meski kurang diminati sebagai sayuran segar karena rasa pahitnya, varietas ini menemukan tempat istimewanya dalam kuliner melalui proses pengasinan. Dengan ukuran yang lebih kompak dibanding sawi putih, karakteristiknya meliputi daun lebar berwarna hijau tua, batang pendek yang kokoh, serta tangkai yang pipih dan kuat, menjadikannya ideal untuk dibudidayakan di lahan kering.



Gambar 2.4 Sawi Hijau

2.2.2.3 Sawi Huma

Adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang spesifik terlihat pada sawi huma pada Gambar 2.5, yang berkembang baik di lahan kering seperti tegalan. Ditanam strategis setelah musim penghujan karena sensitifitasnya terhadap genangan air, varietas ini menampilkan daun sempit dan panjang dengan nuansa hijau keputihan, didukung batang yang ramping namun panjang. Meski harganya lebih terjangkau dibanding sawi putih, kualitasnya tetap diminati pasar.



Gambar 2.5 Sawi Huma

2.2.2.4 Caisim alias Sawi Bakso

Popularitas tertinggi saat ini dipegang oleh caisim atau sawi bakso pada Gambar 2.6, yang juga dikenal sebagai sawi cina. Keunggulannya terletak pada tangkai daun yang panjang dan langsing dengan warna putih kehijauan, serta daun yang lebar, memanjang, dan tipis. Teksturnya yang renyah dan segar dengan sentuhan rasa pahit yang minimal membuatnya menjadi pilihan utama untuk berbagai hidangan, terutama di warung mi bakso, mi ayam, dan restoran masakan Tionghoa.



Gambar 2.6 Sawi Caisim

2.2.2.5 Sawi Keriting

Ciri khas sawi keriting adalah daunnya yang keriting seperti pada Gambar 2.7. Bagian daun yang hijau sudah mulai tumbuh dari pangkal tangkai daun. Tangkai daunnya berwarna putih. Selain daunnya yang keriting, jenis sawi ini amat mirip dengan sawi hijau biasa.



Gambar 2.7 Sawi Keriting

2.2.2.6 Sawi Monumen

Sawi monument tumbuhnya amat tegak dan berdaun kompak seperti pada Gambar 2.8. Penampilan sawi ini sekilas mirip dengan petsai. Tangkai daun berwarna putih berukuran agak lebar dengan tulang daun yang juga berwarna putih. Daunnya berwarna hijau segar. Jenis sawi ini tergolong terbesar dan terberat di antara jenis sawi lainnya.



Gambar 2.8 Sawi Monumen

2.2.2.7 Pakcoy

Pakcoy (*Brassica chinensis*) adalah jenis sawi yang memiliki ciri khas daun hijau segar, batang putih, tangkai kokoh, dan daun lebih tebal dibandingkan sawi biasa seperti pada Gambar 2.9. Sayuran ini berasal dari luar negeri dan populer di kalangan masyarakat keturunan Cina. Pakcoy tumbuh baik di dataran tinggi dan banyak dibudidayakan di daerah Cipanas, Jawa Barat, dengan pemasaran yang mudah karena rasanya disukai konsumen Indonesia.



Gambar 2.9 Sawi Pakcoy

2.2.3 Syarat Tumbuh Sawi

Tanaman sawi mampu tumbuh di lingkungan panas maupun dingin, sehingga dapat dibudidayakan baik di dataran rendah maupun tinggi, dengan ketinggian ideal antara 5 hingga 1.200 mdpl. Namun, biasanya tanaman ini ditanam pada ketinggian 100-500 mdpl. Sawi tahan terhadap hujan, sehingga bisa ditanam sepanjang tahun. Pada musim kemarau, tanaman ini tetap dapat tumbuh dengan baik jika penyiraman dilakukan secara rutin dan dengan jumlah air yang cukup, serupa dengan hasil pertumbuhan pada musim penghujan. Kondisi lembap mendukung pertumbuhan optimal sawi, tetapi tanaman ini tidak menyukai genangan air, sehingga penanaman ideal dilakukan pada akhir musim penghujan. Sawi dapat dibudidayakan melalui metode konvensional maupun metode hidroponik. Jenis tanah yang sesuai adalah tanah gembur, subur, kaya humus, dengan sistem drainase yang baik. Tanaman ini tumbuh optimal pada tanah dengan tingkat keasaman (pH) antara 6-7.[18]

Penyiraman hidroponik pada tanaman sawi yang dilakukan selama 24 jam nonstop pada dasarnya bertujuan untuk menjamin ketersediaan hara secara kontinu, namun praktik ini menyimpan risiko fatal berupa pembusukan akar jika tidak disertai dengan manajemen aerasi yang memadai. Menurut Resh (2022) dalam bukunya *Hydroponic Food Production*, sirkulasi larutan nutrisi yang terus-menerus tanpa jeda dapat menyebabkan akumulasi karbon dioksida (CO₂) dan penurunan kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) di sekitar zona akar, yang memicu kondisi

hipoksia atau kekurangan oksigen bagi sel-sel tumbuhan. [12] Kondisi lingkungan yang jenuh air ini mengakibatkan terhentinya respirasi aerobik akar, sehingga akar kehilangan kemampuan untuk menyerap nutrisi secara aktif dan mulai mengalami kematian jaringan. Sejalan dengan hal tersebut, Jones (2016) dalam *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically* menekankan bahwa media yang terlalu basah secara konstan tanpa siklus kering atau aerasi yang cukup akan mengundang patogen oportunistik seperti *Pythium*, yang menyerang jaringan akar yang melemah hingga berubah warna menjadi cokelat, berlendir, dan akhirnya membusuk sepenuhnya. [19]

Penerapan sistem *Nutrient Film Technique* (NFT) dengan pembatasan durasi sirkulasi hingga sore hari memerlukan integrasi media tanam yang memiliki kapasitas retensi air tinggi, seperti *rockwool*, guna memitigasi risiko defisit air pada zona perakaran saat pompa dinonaktifkan. Mengingat karakteristik sistem NFT yang hanya mengalirkan lapisan nutrisi tipis tanpa genangan statis, konfigurasi kemiringan talang (*gully*) harus diatur secara presisi untuk mempertahankan kelembapan residual, disertai dengan reaktivasi pompa pada dini hari guna memenuhi kebutuhan transpirasi tanaman saat intensitas cahaya mulai meningkat. Strategi ini bertujuan untuk menyeimbangkan efisiensi konsumsi energi listrik dengan pemenuhan kebutuhan fisiologis tanaman sawi, sehingga potensi stagnasi pertumbuhan akibat kekeringan fisiologis maupun penurunan kadar oksigen terlarut dapat diminimalisir.[19]

2.3 *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) merupakan jenis sistem komputasi inovatif di mana perangkat elektronik yang dilengkapi sensor digunakan untuk mendeteksi kondisi lingkungan operasional sistem. Dengan data dari berbagai sumber, sistem ini kemudian menentukan tindakan yang perlu diambil untuk meningkatkan nilai atau mengembangkan fitur baru bagi pengguna. Automatisasi seringkali menjadi tujuan utama penerapan IoT, baik di lingkungan rumah maupun tempat kerja. Smart agriculture atau pertanian pintar adalah penerapan IoT dalam budidaya tanaman yang memiliki potensi untuk menghemat tenaga kerja dan sumber daya,

memberikan kontrol yang lebih presisi dalam penyiraman dan pemupukan, serta mengumpulkan informasi yang lebih akurat mengenai lingkungan penanaman. [3]

Penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam sektor pertanian, yang sering disebut sebagai pertanian cerdas (*Smart Farming*) atau pertanian presisi, telah membawa perubahan signifikan dalam cara budidaya tanaman dan pengelolaan sumber daya. IoT memungkinkan petani untuk mengumpulkan data secara *real-time* dari berbagai aspek lingkungan pertanian, menganalisisnya, dan membuat keputusan yang lebih tepat untuk mengoptimalkan hasil panen dan efisiensi operasional.[20] Beberapa aplikasi utama IoT dalam pertanian meliputi:

1. Pemantauan Lingkungan (*Environmental Monitoring*): Sensor IoT dapat ditempatkan di lahan pertanian atau di dalam rumah kaca untuk memantau parameter penting seperti suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, pH tanah/larutan nutrisi, intensitas cahaya, dan kadar CO₂. Data ini dikirimkan secara nirkabel ke *platform cloud*, memungkinkan petani untuk memantau kondisi secara *real-time* dari jarak jauh dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum berdampak negatif pada tanaman.
2. Sistem Irigasi Otomatis (*Automated Irrigation Systems*): Berdasarkan data kelembaban tanah atau kebutuhan air tanaman, sistem IoT dapat secara otomatis mengaktifkan atau menonaktifkan sistem irigasi. Ini mencegah penyiraman berlebihan atau kekurangan air, menghemat penggunaan air, dan memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang optimal.
3. Manajemen Nutrisi (*Nutrient Management*): Dalam sistem hidroponik, sensor pH dan *Electrical Conductivity* (EC) dapat memantau kadar nutrisi dalam larutan. Sistem IoT dapat diprogram untuk secara otomatis menyesuaikan konsentrasi nutrisi atau pH larutan dengan mengaktifkan pompa dosing, memastikan tanaman selalu mendapatkan nutrisi yang seimbang.
4. Pemantauan Kesehatan Tanaman dan Hama (*Crop Health and Pest Monitoring*): Drone yang dilengkapi dengan kamera multispektral dan sensor IoT dapat digunakan untuk memindai lahan pertanian dan mendeteksi tanda-tanda penyakit tanaman, kekurangan nutrisi, atau serangan hama pada tahap awal. Data ini membantu petani untuk mengambil tindakan pencegahan atau pengobatan yang

tepat waktu dan terarah.

5. Pelacakan Ternak (*Livestock Monitoring*): Untuk peternakan, perangkat IoT dapat dipasang pada hewan untuk memantau lokasi, kesehatan, pola makan, dan perilaku. Ini membantu dalam deteksi dini penyakit, manajemen reproduksi, dan pencegahan kehilangan ternak.

6. Manajemen Peralatan Pertanian (*Farm Equipment Management*): IoT juga digunakan untuk memantau kinerja dan lokasi peralatan pertanian seperti traktor atau mesin panen. Ini membantu dalam pemeliharaan prediktif, optimalisasi rute, dan peningkatan efisiensi penggunaan mesin.

Dengan mengintegrasikan teknologi IoT, pertanian menjadi lebih presisi, berkelanjutan, dan produktif, memungkinkan petani untuk menghadapi tantangan seperti perubahan iklim, kelangkaan sumber daya, dan peningkatan permintaan pangan.

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah perangkat keras elektronik yang berfungsi sebagai otak dalam sebuah sistem tertanam (*embedded system*). Mikrokontroler mengintegrasikan prosesor, memori, dan periferi *input/output* (I/O) dalam satu chip. Perangkat ini dirancang untuk melakukan tugas-tugas tertentu secara efisien dalam berbagai aplikasi, seperti perangkat rumah tangga, alat kesehatan, otomotif, hingga sistem IoT.

Komponen utama mikrokontroler meliputi:

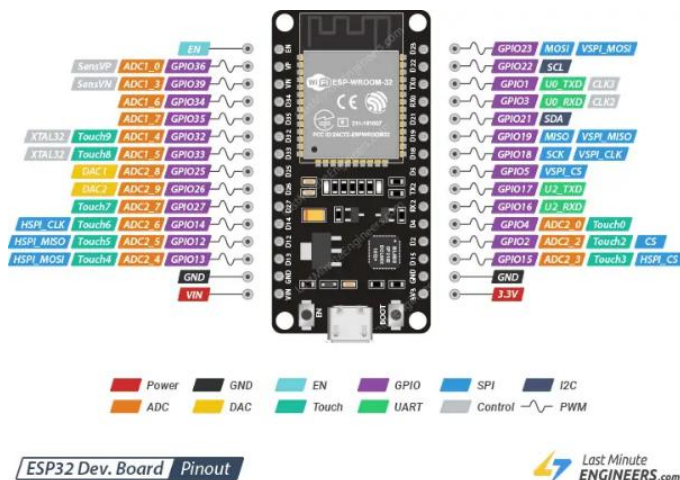
- *Central Processing Unit* (CPU): Bagian yang memproses instruksi dan mengendalikan kerja sistem.
- Memori: Biasanya terdiri dari memori program (seperti Flash) dan memori data (RAM).
- Periferi: Modul untuk berinteraksi dengan perangkat eksternal, seperti ADC (*Analog-to-Digital Converter*), UART, I2C, dan SPI.
- *Timer dan Counter*: Untuk pengaturan waktu dan perhitungan.
- GPIO (*General-Purpose Input/Output*): Pin untuk berkomunikasi dengan perangkat eksternal.

Mikrokontroler sering digunakan dalam perangkat yang membutuhkan kontrol

otomatis dan hemat daya. Contoh populer mikrokontroler adalah keluarga AVR (seperti *Arduino*), PIC, dan STM32. [21]

2.4.1 ESP32 DevKit V1

ESP32 adalah Mikrokontroler *System on Chip* (SoC) berbiaya rendah dari *Espressif Systems*, pengembang SoC *ESP8266* yang terkenal. Ini adalah penerus SoC *ESP8266* dan hadir dalam variasi *single-core* dan *dual-core* dari Mikroprosesor *Xtensa LX6 32-bit Tensilica* dengan *Wi-Fi* dan *Bluetooth* terintegrasi. Hal yang baik tentang *ESP32*, seperti *ESP8266* adalah komponen 19 RF terintegrasi seperti *Power Amplifier*, *Low-Noise Accept Amplifier*, *Antenna Switch*, *Filter* dan *RF Balun*. Spesifikasi lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.2. Hal ini membuat perancangan perangkat keras di sekitar *ESP32* menjadi sangat mudah karena hanya memerlukan sedikit komponen eksternal. [22] Dapat dilihat pada Gambar 2.10, mikrokontroler *ESP32* memiliki desain yang kompak dan dilengkapi dengan berbagai fitur yang menunjang kebutuhan pengembangan sistem IoT.



Gambar 2.10 *ESP32 DevKit V1*

Sumber : <https://lastminuteengineers.com/esp32-pinout-reference/>

Tabel 2.2 Spesifikasi Mikrokontroler *ESP32 DevKit V1* [22]

Atribut	Spesifications
Microprocessor	Single or Dual-Core 32-bit LX6 Microprocessor with clock frequency up to 240 MHz
Dimension	52 mm x 28 mm x 14 mm
SRAM	520 kB

<i>Antenna</i>	<i>Onboard Antenna</i>
<i>Flash Memory</i>	4 MB
<i>Operating Voltage of Power Module</i>	5V
<i>USB Voltage</i>	5V $\pm$ 0.3V
<i>Operating Temperature</i>	(-40) – 85 °C
<i>Number of Pins</i>	32 Pins
<i>Wi-Fi</i>	<i>Wireless 802.11 b/g/n standard</i>
<i>Bluetooth</i>	<i>Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth</i>

Pemanfaatan mikrokontroler *ESP32* dalam sistem pemeliharaan hidroponik tanaman sawi menggunakan IoT berbasis *Arduino IoT Cloud* ini menawarkan sejumlah keunggulan, seperti kemudahan integrasi dengan *Arduino IoT Cloud*, efisiensi energi, serta akses data secara *real-time* melalui *Arduino IoT Cloud*. Sistem ini memungkinkan petani untuk memantau dan memelihara hidroponik tanaman sawi dengan lebih efektif, sehingga mendukung peningkatan produktivitas dan kualitas hasil tanaman.

2.5 Sensor

Sensor atau transduser merupakan suatu komponen elektronika yang bertugas untuk mengonversi besaran fisik menjadi besaran listrik. Beragam jenis sensor memungkinkan pendeteksian berbagai fenomena fisik, termasuk suhu, kelembaban udara, pH air, konsentrasi nutrisi dalam air, kualitas udara, dan lain sebagainya.

2.5.1 Sensor *pH Meter 4502C*

Sensor *pH Meter 4502C* merupakan sensor pH Meter yang digunakan untuk mengukur kadar keasaman yang terkandung dalam air. Sensor biasanya digunakan untuk pengujian kualitas air pada akuakultur.



Gambar 2.11 Sensor *pH Meter 4502C*

Sumber: <https://www.aliexpress.com/item/4000380913484.html>

Dapat dilihat pada Gambar 2.11 Sensor *pH Meter 4502C*, sensor ini memiliki enam pin berupa TO, DO, PO, Gnd, Gnd, dan VCC. Pin TO merupakan pin untuk *Temperature Output*. Pin DO merupakan pin *output* tegangan sensor pH. Lalu terdapat dua pin Gnd yang berfungsi untuk *ground* pada sensor pH 4502C. Pin VCC yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik pada sensor pH 4502C. [23] Untuk spesifikasi lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor *pH Meter 4502C* [23]

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Working Voltage</i>	5 V AC; 0.2 V DC
<i>Measurement pH Range</i>	0,00 – 14,00 pH
<i>Accuracy</i>	98,5%
<i>Response Time</i>	<i>Less than 1 minute</i>
<i>Operating Temperature</i>	0 – 60°C
<i>Connector</i>	<i>Port BNC</i>
<i>Cabel Length</i>	0.8 m
<i>Output</i>	<i>Analog</i>
<i>Dimensions</i>	42 x 32 x 20 mm

Dalam penelitian ini, sensor pH air memainkan peran penting dalam sistem pemeliharaan hidroponik tanaman sawi menggunakan IoT berbasis *Arduino IoT Cloud*. Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengendalikan kondisi yang dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman secara *real-time*, memastikan bahwa tanaman hidroponik mendapatkan air yang sesuai dengan kebutuhan pertumbuhannya.

2.5.2 Ultrasonic Sensor HC-SR04

Ultrasonic Sensor HC-SR04 dapat mengukur jarak non-kontak dari 2cm sampai 400cm dengan akurasi pengukuran jarak mencapai 3mm. Modul ini mencakup pemancar ultrasonic, penerima, dan rangkaian kontrol. Prinsip dasar kerja dari HC-SR04 adalah dengan menggunakan pemacu IO untuk sinyal tingkat tinggi setidaknya selama 10 mikrodetik, lalu modul secara otomatis mengirimkan delapan sinyal 40 kHz dan mendeteksi apakah ada sinyal pulse yang kembali. Jika sinyal kembali melalui tingkat tinggi, waktu durasi keluaran IO tinggi adalah waktu dari pengiriman *Ultrasonic* hingga kembali. Jarak pengujian = $(\text{waktu tingkat tinggi} \times \text{kecepatan suara}) / 2$. [24] Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.12 Sensor *Ultrasonic HC-SR04* bentuk dari sensor *Ultrasonic HC-SR04* beserta spesifikasinya yang tertera pada Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor *Ultrasonic HC-SR04*.



Gambar 2.12 Sensor *Ultrasonic HC-SR04*

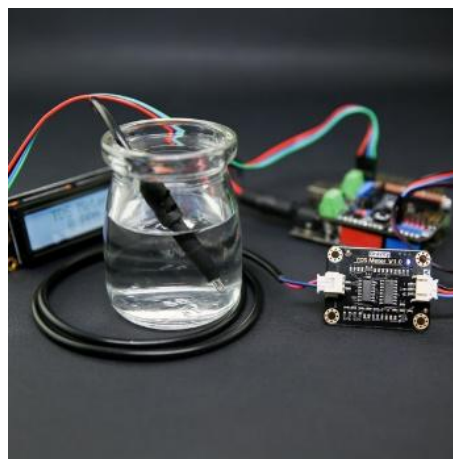
Sumber: <https://www.arduinoindonesia.id/2022/10/pengertian-dan-cara-kerja-sensor-ultrasonik-HC-SR04.html>

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor *Ultrasonic HC-SR04* [24]

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Working Voltage</i>	DC 5 V
<i>Working Current</i>	15mA
<i>Working Frequency</i>	40Hz
<i>Max Range</i>	4m
<i>Min Range</i>	2cm
<i>Measuring Angle</i>	15°
<i>Trigger Input Signal</i>	10uS TTL pulse
<i>Echo Output Signal</i>	Input TTL lever signal and the range in proportion
<i>Dimension</i>	45 x 20 x 15mm

2.5.3 TDS (*Total Dissolve Solid*) Sensor SEN0244

Total Dissolved Solids (TDS) adalah indikator seberapa banyak miligram zat terlarut yang terlarut dalam satu liter air. Secara umum, semakin tinggi nilai TDS, semakin banyak zat terlarut yang larut dalam air, dan semakin tidak bersih air tersebut. Oleh karena itu, nilai TDS dapat digunakan sebagai salah satu titik referensi untuk mencerminkan kebersihan air. Sebuah pena TDS adalah peralatan yang banyak digunakan untuk mengukur nilai TDS. Namun, tidak mudah untuk berbicara tentang sistem kontrol untuk pemantauan kualitas air secara *real-time*. SEN0244 ini menerima *input* tegangan yang luas, yaitu 3,3 hingga 5,5V, dan memberikan keluaran tegangan analog 0 hingga 2,3V, yang membuatnya kompatibel dengan sistem atau papan kontrol 5V atau 3,3V seperti *Arduino*, *ESP32*, *Raspberry Pi*, *micro:bit*, dan *LattePanda*. Sumber eksitasi adalah sinyal AC, yang dapat efektif mencegah probe dari polarisasi dan memperpanjang umur probe, sambil membantu meningkatkan stabilitas sinyal keluaran. Probe TDS tahan air, sehingga dapat direndam dalam air untuk pengukuran jangka panjang. [25] Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.13 Sensor TDS SEN0244 bentuk dari sensor TDS beserta spesifikasi yang tertera pada Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor TDS.



Gambar 2.13 Sensor TDS SEN0244

Sumber:

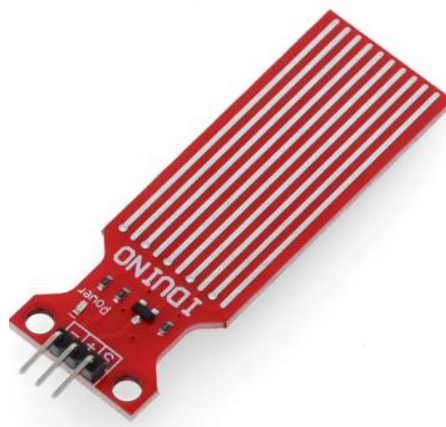
https://wiki.dfrobot.com/gravity__analog_tds_sensor___meter_for_arduino_sku__sen0244

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor TDS SEN0244

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Input Voltage</i>	3.3 ~ 5.5 V
<i>Output Voltage</i>	0 ~ 2.3 V
<i>Working Current</i>	3 ~ 6 mA
<i>TDS Measurement Range</i>	0 ~ 1000 ppm
<i>TDS Measurement Accuracy</i>	± 10% F.S. (25 °C)
<i>Module Size</i>	42 x 32 mm
<i>Module Interface</i>	PH2.0-3P
<i>Electrode Interface</i>	XH2.54-2P
<i>Connection Interface</i>	XH2.54-2P

2.5.4 *Water Level*

Sensor *Water Level* adalah sensor yang dirancang untuk mengukur ketinggian air pada proyek *Arduino*. Ini beroperasi pada rentang tegangan DC3-5V dengan arus operasi rendah kurang dari 20mA. Sensor ini menggunakan sinyal keluaran analog berdasarkan tekanan air untuk mendeteksi tingkat air, dengan area deteksi berukuran 40x16mm. Sensor *Water Level* ini digunakan untuk mengenali tingkat tinggi air atau tetesan air. Sensor ini menyederhanakan konversi tingkat air menjadi sinyal analog, memungkinkan pembacaan langsung pada papan pengembangan *Arduino*. [26] Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.14 Sensor *Water Level* bentuk dari sensor *Water Level* beserta spesifikasinya yang tertera pada Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor *Water Level*.

Gambar 2.14 Sensor *Water Level*

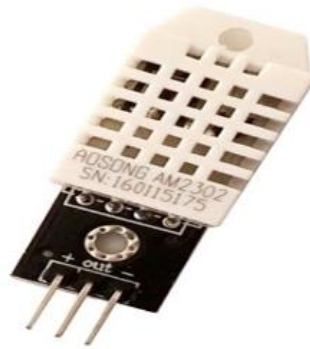
Sumber: <https://lastminuteengineers.com/water-level-sensor-arduino-tutorial/>

Tabel 2.6 Spesifikasi *Water Level*

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Working Voltage</i>	5V
<i>Working Current</i>	<20mA
<i>Interface</i>	Analog
<i>Width of Detection</i>	40 x 16 mm
<i>Working Temperature</i>	10°C ~ 30°C
<i>Weight</i>	3g
<i>Size</i>	65 x 20 x 8 mm
<i>Output Voltage Signal</i>	0 ~ 4.2V

2.5.5 DHT22 Temperature & Humidity

Sensor DHT22 adalah penerus dari modul DHT11 dan dapat dibeli sebagai sensor atau modul. Kinerja sensor tetap sama terlepas dari bentuk pembeliannya. Sensor memiliki empat pin, tetapi hanya tiga yang digunakan, sedangkan modul memiliki tiga pin sesuai dengan diagram pin DHT22. Perbedaan utama antara sensor dan modul adalah bahwa modul memiliki kapasitor penyaring dan resistor *pull-up* yang sudah terpasang, sementara sensor memerlukan komponen-komponen tersebut secara eksternal jika diperlukan. Modul sedikit lebih mahal daripada DHT11, namun memiliki jangkauan pengukuran yang lebih tinggi dan akurasi yang sedikit lebih baik. DHT22 sering digunakan sebagai sensor suhu dan kelembaban. Sensor ini dilengkapi dengan NTC khusus untuk mengukur suhu dan mikroprosesor 8-bit untuk menghasilkan nilai suhu dan kelembaban sebagai data serial. Sensor ini juga telah dikalibrasi di pabrik sehingga mudah dihubungkan dengan mikrokontroler lain. Sensor ini dapat mengukur suhu dari -40°C hingga 80°C dan kelembaban dari 0% hingga 100% dengan akurasi $\pm 1^\circ\text{C}$ dan $\pm 1\%$. Jadi, jika Anda perlu mengukur dalam rentang ini, sensor ini bisa menjadi pilihan yang tepat. [27] Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.15 Sensor DHT22 bentuk dari sensor DHT22 beserta spesifikasinya yang tertera pada Tabel 2.7 Spesifikasi Sensor DHT22.



Gambar 2.15 Sensor DHT22

Sumber: <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet>

Tabel 2.7 Spesifikasi DHT22

<i>Atribut</i>	<i>Spesifikasi</i>
<i>Power Supply</i>	3.3 – 6 V DC
<i>Output Signal</i>	<i>Digital signal via single-bus</i>
<i>Sensing Element</i>	<i>Polymer capacitor</i>
<i>Operating Range</i>	<i>Humidity 0 – 100% RH;</i> <i>Temperature -40° ~ +80°C</i>
<i>Accuracy</i>	<i>Humidity $\pm$ -2% RH (Max $\pm$ -5% RH);</i> <i>Temperature $\leq \pm$ -0.5°C</i>
<i>Resolution or Sensitivity</i>	<i>Humidity 0.1% RH;</i> <i>Temperature 0.1°C</i>
<i>Repeatability</i>	<i>Humidity $\pm$ 1% RH;</i> <i>Temperature $\pm$ 0.2°C</i>
<i>Humidity Hysteresis</i>	$\pm$ 0.3% RH
<i>Long-term Stability</i>	$\pm$ 0.5% RH/year
<i>Sensing Period</i>	<i>Average: 2s</i>
<i>Interchangeability</i>	<i>Fully Interchangeable</i>
<i>Dimensions</i>	14 x 18 x 5.5 mm – 22 x 28 x 5 mm

2.6 Adaptor DC 12V 3A

Adaptor 12V DC adalah perangkat elektronik yang berfungsi mengubah arus bolak-balik (AC) dari sumber listrik utama menjadi arus searah (DC) dengan tegangan keluaran 12 volt. Proses konversi ini umumnya melibatkan beberapa tahap, termasuk penurunan tegangan melalui transformator, penyearahan menggunakan dioda bridge, penyaringan dengan kapasitor untuk mengurangi riak (*ripple*), dan regulasi tegangan untuk memastikan keluaran yang stabil.

Terdapat dua jenis utama adaptor AC to DC:

1. **Adaptor *Linear*:** Menggunakan transformator frekuensi rendah untuk menurunkan tegangan, diikuti oleh penyearah dan regulator linear. Meskipun desainnya sederhana, adaptor ini cenderung besar dan kurang efisien karena menghasilkan panas yang signifikan.
2. **Adaptor *Switched-Mode Power Supply (SMPS)*:** Menggunakan teknik pensaklaran frekuensi tinggi untuk mengubah tegangan, memungkinkan ukuran yang lebih kecil dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan adaptor linear. SMPS juga mampu menangani berbagai variasi tegangan *input* dan beban *output*.

Adaptor 12V DC banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk memberi daya pada perangkat elektronik seperti mikrokontroler (misalnya *Arduino*), sensor, modul relai, sistem pencahayaan LED, dan perangkat IoT lainnya. [28] Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.16 Adaptor DC 12V bentuk dari Adaptor DC 12V yang digunakan beserta spesifikasinya yang tertera pada Tabel 2.8 Spesifikasi adaptor DC 12V.



Gambar 2.16 Adaptor DC 12V 3A

Sumber: <https://shopee.co.id/power-supply-slim-HITECH-3A-DC-12V-i.299837757.25063187249>

Tabel 2.8 Spesifikasi Adaptor DC 12V

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Output Voltage</i>	12 V DC
<i>Input Voltage</i>	176-264V 50/60Hz
<i>Output Current</i>	3A

2.7 Step Down LM2596

Step Down LM2596 merupakan salah satu regulator switching tipe *buck converter* yang dirancang untuk menurunkan tegangan DC dengan efisiensi tinggi. IC ini bekerja pada frekuensi switching tetap sebesar 150 kHz dan mampu menghasilkan arus keluaran hingga 2A secara kontinu. Modul ini mendukung rentang tegangan *input* dari 4V hingga 40V, dan tegangan *output* yang dapat disesuaikan dari 1.25V hingga 35V tergantung pengaturan potensiometernya. [29] Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.17 *Step Down LM2596* bentuk dari *Step Down LM2596* beserta spesifikasinya yang tertera pada Tabel 2.9 Spesifikasi *Step Down LM2596*.



Gambar 2.17 *Step Down LM2596*

Sumber: <https://digiwarestore.com/id/other-appliances/modul-lm2596-dc-dc-step-down-input-dc-3-40v-output-dc-15-35v-644149.html>

Tabel 2.9 Spesifikasi *Step Down LM2596*

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Input Voltage</i>	DC 3 – 40V
<i>Output Voltage</i>	DC 1.5 – 35V
<i>Output Current</i>	3A (max) <i>Recommended use under 2A</i>
<i>Load Adjust Ratio</i>	± 0.5%
<i>Voltage Adjust Ratio</i>	± 2.5%
<i>Transferring Efficiency</i>	92% Max
<i>Frequency</i>	150KHz
<i>Output Ripple</i>	200mV
<i>Module Feature</i>	<i>Buck and non-isolated</i>
<i>Rectification Method</i>	<i>Non-synchronous Rectification</i>

2.8 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah jenis tampilan (display) karakter berbasis

Liquid Crystal Display yang dapat menampilkan 16 karakter dalam 2 baris. LCD ini secara umum menggunakan pengontrol HD44780 yang kompatibel dengan banyak mikrokontroler seperti *Arduino*, *ESP32*, dan *STM32*. Untuk mempermudah koneksi dengan mikrokontroler, modul LCD ini sering dikombinasikan dengan antarmuka I2C (*Inter-Integrated Circuit*), yang memungkinkan komunikasi hanya melalui dua pin: SDA (*data*) dan SCL (*clock*). Penggunaan antarmuka I2C mengurangi jumlah pin digital yang dibutuhkan pada mikrokontroler dari 6–10 pin menjadi hanya 2 pin. Modul ini juga memiliki potensiometer internal untuk mengatur kontras dan dilengkapi dengan pin untuk mengaktifkan/mematikan *backlight*. Komunikasi I2C biasanya menggunakan alamat default 0x27 atau 0x3F, tergantung tipe chipset ekspander I/O yang digunakan (umumnya PCF8574). Modul ini sangat populer di kalangan pembuat proyek DIY, sistem monitoring berbasis *Arduino*, dan aplikasi IoT karena hemat ruang, hemat pin, serta mudah diprogram menggunakan *library* seperti *LiquidCrystal_I2C*. [30] Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.18 *Liquid Crystal Display* I2C 16x2 bentuk dari LCD I2C beserta spesifikasinya yang tertera pada Tabel 2.10 Spesifikasi LCD I2C 16x2.



Gambar 2.18 *Liquid Crystal Liquid* I2C 16x2

Sumber: https://www.handsontec.com/dataspecs/module/I2C_1602_LCD.pdf

Tabel 2.10 Spesifikasi LCD I2C 16x2

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Display Mode</i>	<i>STN, BLUB</i>
<i>Display Formate</i>	<i>16 Character x 2 Line</i>
<i>Viewing Direction</i>	<i>6 O’Clock</i>
<i>Input Data</i>	<i>4-Bits or 8-Bits interface available</i>
<i>Display Font</i>	<i>5 x 8 Dots</i>
<i>Power Supply</i>	<i>Single Power Supply (5V ± 10%)</i>

<i>Driving Scheme</i>	1/16 Duty, 1/5 Bias
<i>Backlight</i>	LED (White)
<i>PCB Dimension</i>	80.0 x 36.0 x 1.6 mm
<i>View Dimension</i>	69.5 x 14.5 mm

2.9 *Micro Submersible Water Pump*

Pompa air *mini submersible* 5V DC merupakan salah satu komponen aktuator yang banyak digunakan dalam sistem irigasi otomatis, hidroponik, dan proyek mikrokontroler. Pompa ini bekerja dengan prinsip elektromagnetik dan dirancang untuk bekerja dalam kondisi terendam air (*submersible*). Tegangan operasional rendah (sekitar 3–6V DC, optimal pada 5V) menjadikannya ideal untuk dikendalikan langsung oleh mikrokontroler seperti *Arduino* atau melalui modul *relay/MOSFET*. Pompa ini umumnya memiliki laju aliran sekitar 80–120 liter/jam, dan mampu mengangkat air setinggi 40–110 cm tergantung spesifikasi model. Karena ukurannya yang kecil dan konsumsi arus yang rendah (biasanya sekitar 100–200 mA), pompa ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan sirkulasi air dalam skala kecil seperti pendingin air mini, aquarium DIY, atau sistem irigasi otomatis tanaman indoor. [31] Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.19 *Micro Submersible Water Pump* bentuk dari pompa beserta spesifikasinya yang tertera pada Tabel 2.11 Spesifikasi *Micro Submersible Water Pump*.



Gambar 2.19 *Micro Submersible Water Pump*

Sumber: <https://my.cytron.io/p-micro-submersible-water-pump-dc-3v-5v>

Tabel 2.11 Spesifikasi *Micro Submersible Water Pump*

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Input Voltage</i>	3.3V – 5V
<i>Operating Current</i>	0.1 – 0.2A
<i>Size</i>	45mm x 30mm x 25mm
<i>Weight</i>	30g
<i>Operating Temperature</i>	80°C

2.10 Pompa Utama YP-104

Dalam operasional sistem hidroponik, terutama pada metode *Nutrient Film Technique* (NFT), Pompa Air Celup (*Submersible Pump*) tipe YP-104 pada Gambar 2.20 memainkan peran vital sebagai komponen pengairan utama. Pompa ini berfungsi sebagai aktuator yang bertanggung jawab untuk memastikan sirkulasi larutan nutrisi yang efisien dan berkelanjutan dari tangki utama menuju media tanam atau saluran distribusi.



Gambar 2.20 Pompa Utama YP-104

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.12, dengan spesifikasi daya 38 Watt dan laju aliran maksimum mencapai 2000 Liter/Jam (L/Hr), pompa YP-104 memiliki kapasitas yang memadai untuk sistem skala kecil hingga menengah. Pompa diposisikan terendam di dalam tandon nutrisi dan dihubungkan ke pipa distribusi. Ketika diaktifkan, pompa bekerja untuk mengangkat larutan menggunakan ketinggian dorong maksimum (*Max Head*) hingga 2.0 meter, pompa mendorong larutan nutrisi secara vertikal ke elevasi yang diperlukan sebelum didistribusikan secara gravitasi melalui saluran atau pipa tetes. Dalam sistem NFT, pompa memastikan aliran larutan nutrisi yang konstan dan tipis melewati akar tanaman, menjaga ketersediaan air dan unsur hara esensial. Meskipun bukan fungsi utama,

pergerakan air yang dihasilkan oleh pompa saat kembali ke tangki dapat berkontribusi pada proses aerasi ringan, membantu meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) yang penting bagi penyerapan nutrisi oleh akar.

Pemilihan pompa celup seperti YP-104 didasarkan pada keandalannya untuk beroperasi secara terus-menerus dan kemampuannya untuk menangani larutan nutrisi (yang memiliki kandungan mineral) tanpa korosi yang cepat. Pompa ini mendukung otomatisasi jadwal pengairan yang dikontrol oleh *timer* atau *controller* (mikrokontroler), memastikan bahwa tanaman menerima nutrisi yang tepat pada interval waktu yang optimal, yang merupakan kunci keberhasilan dalam budidaya hidroponik.

Tabel 2.12 Spesifikasi Pompa YP-104

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Power</i>	38W
Tegangan Listrik	220V / 50 Hz
<i>Q_{max}</i>	2000 lt/Jam
<i>H_{max}</i>	2.0m
<i>Size</i>	15x11x12 cm

2.11 Alat Kalibrator

Alat kalibrator adalah instrumen atau sistem yang dirancang untuk membandingkan, memverifikasi, dan menyesuaikan akurasi suatu alat ukur lain dengan nilai standar yang telah ditetapkan dan diketahui secara presisi. Fungsi utamanya adalah memastikan bahwa semua pengukuran yang dilakukan oleh instrumen tersebut memiliki ketertelusuran (*traceability*) ke standar nasional maupun internasional, sehingga data yang dihasilkan dapat dipercaya dan valid. [32] Dalam setiap disiplin ilmu atau industri yang mengandalkan data kuantitatif, mulai dari laboratorium penelitian hingga proses manufaktur, alat kalibrator menjadi esensial untuk menjaga kualitas, efisiensi, dan kepatuhan terhadap regulasi.

Pentingnya alat kalibrator terletak pada kemampuannya untuk mengkompensasi penyimpangan (*drift*) instrumen akibat faktor seperti penuaan komponen,

perubahan lingkungan operasional, atau penggunaan yang intensif. Tanpa kalibrasi yang rutin dan akurat, pembacaan instrumen akan kehilangan validitasnya seiring waktu, yang dapat berujung pada keputusan yang salah, produk cacat, atau bahkan kegagalan sistem.

2.11.1 TDS Meter TDS-3

Pengukuran nutrisi dalam larutan sering kali diwakili oleh *Total Dissolved Solids* pada (TDS) atau *Electrical Conductivity* (EC). Alat kalibrator untuk parameter ini adalah larutan standar konduktivitas dengan nilai EC atau TDS yang telah diverifikasi (misalnya 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ atau 12880 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Larutan ini memiliki konduktivitas listrik yang stabil pada suhu tertentu, sehingga memungkinkan kalibrator untuk mengoreksi pembacaan sensor EC/TDS. Proses ini memastikan konversi yang akurat dari sinyal listrik yang terukur menjadi konsentrasi padatan terlarut, yang vital untuk optimasi nutrisi tanaman dalam sistem hidroponik. [33] Berikut merupakan Gambar 2.21 TDS Meter TDS-3 serta spesifikasinya yang dapat dilihat pada Tabel 2.13 Spesifikasi TDS Meter TDS-3:



Gambar 2.21 TDS Meter TDS-3

Tabel 2.13 Spesifikasi TDS Meter TDS-3

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>TDS Range</i>	0 – 9990 ppm (mg/L)
<i>Temp. Range</i>	0 – 80°C
<i>Resolution</i>	0-999:1 ppm; 1000-9990:10 ppm (indicated by 'x10' icon)
<i>Temperature Resolution</i>	0.1°C
<i>Accuracy</i>	±2% / Temp. ± 1°C
<i>EC-to-TDS Conversion Factor</i>	NaCl (avg. 0.5)

<i>ATC</i>	<i>Built-in sensor for Automatic Temperature Compensation of 1 to 50°C (33~122°F)</i>
<i>Power Source</i>	<i>2 x 1.5V button cell batteries (included) (LR44 or equivalent)</i>
<i>Battery Life</i>	<i>1000 hours of usage</i>
<i>Dimensions</i>	<i>15.5 x 3.1 x 2.3cm (6.1 x 1.25 x 1 inches)</i>
<i>Weight with case</i>	<i>76.5g (2.7 oz)</i>
<i>Weight without case</i>	<i>56.7g (2 oz)</i>

2.11.2 *pH Meter Lutron pH-208*

Alat kalibrator pH merupakan instrumen yang digunakan untuk memverifikasi dan menyesuaikan keakuratan pengukuran sensor pH. Alat ini sangat penting untuk memastikan bahwa hasil pengukuran pH yang diperoleh dari sensor pH tetap akurat dan dapat digunakan. Jenis kalibrator yang digunakan untuk sensor pH berupa larutan buffer dengan pH yang diketahui sebagai standar untuk membandingkan hasil pengukuran pH meter. Larutan buffer ini tersedia dalam berbagai nilai pH, seperti pH 4, pH 7, dan pH 10. [34]

Alat yang digunakan untuk membandingkan nilai pembacaan sensor pH adalah *pH meter Lutron pH-208* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.22 beserta spesifikasinya yang tertera pada Tabel 2.14 Spesifikasi *pH Meter Lutron pH-208*.



Gambar 2.22 *pH Meter Lutron pH-208*

Sumber: <https://kingmariot.com/products/ph-208-digital-ph-meter-ph-mv-tester>

Tabel 2.14 Spesifikasi *pH Meter Lutron pH-208*

<i>Atribut</i>	<i>Spesification</i>
<i>Range</i>	0 – 14 pH
<i>Resolution</i>	0.01 pH
<i>Accuracy</i>	$\pm(0.01 \text{ pH} + 1 \text{ digit})$ pada $23 \pm 5^\circ\text{C}$
Rentang Pengukuran mV	-1999 mV hingga 1999 mV
Resolusi mV	1 mV
Akurasi mV	$\pm(0.5\% = 1 \text{ digit})$
Kompensasi Suhu	0 - 100°C
Sumber Daya	Baterai 9V atau adaptor DC 9V
Dimensi	135 x 72 x 31 mm

2.12 *Arduino IoT Cloud*

Gambar 2.23 *Arduino IoT Cloud*

Sumber: <https://cloud.arduino.cc/>

Gambar 2.23 *Arduino IoT Cloud* adalah layanan berbasis web yang disediakan oleh *Arduino* untuk mempermudah pembuatan dan pengelolaan proyek *Internet of Things* (IoT). Layanan ini memungkinkan pengguna menghubungkan perangkat keras *Arduino* ke internet, sehingga data dari sensor bisa dimonitor, dan perangkat dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui internet. *Arduino IoT Cloud* menyediakan solusi *end-to-end* untuk koneksi IoT (dari perangkat fisik hingga *dashboard online*), antarmuka pemrograman berbasis web untuk mengontrol dan memantau perangkat, dan kemudahan dalam integrasi fitur *cloud* tanpa harus mengelola infrastruktur server sendiri.

Arduino IoT Cloud memiliki beberapa fitur utama sebagai berikut:

1. *Device Management*: Mendukung registrasi perangkat yang kompatibel dengan *Arduino*, seperti MKR1000, *ESP32*, dan lainnya.

2. *Thing and Variables*: Konsep "*Thing*" mewakili perangkat IoT. Di dalamnya terdapat variabel yang bisa diatur untuk dibaca atau ditulis melalui *dashboard*.
3. *Dashboard* Kustomisasi: Pengguna dapat membuat *dashboard visual* dengan komponen seperti *toggle switch*, grafik, indikator suhu, dll.
4. *Cloud Scheduler*: Menyediakan fitur penjadwalan tugas otomatis (mirip cron jobs).
5. *Webhooks & Integrasi API*: Mendukung komunikasi dengan layanan eksternal melalui webhooks dan REST API.
6. *Over-The-Air (OTA) Updates*: *Update firmware* perangkat tanpa koneksi fisik.
7. Keamanan: Menggunakan otentikasi dan koneksi terenkripsi (TLS) untuk komunikasi yang aman.

Kelebihan *Arduino IoT Cloud* dibanding server lokal adalah tidak perlu mengatur *port forwarding* atau server pribadi, lebih aman karena menggunakan infrastruktur *cloud Arduino*, dan dapat langsung digunakan dengan perangkat berbasis *Arduino/MicroPython* yang mendukung. Implementasi *MicroPython* pada perangkat *ESP32/ESP8266* agar dapat mengirimkan data ke *Arduino IoT Cloud*, dengan contoh kode dan penjelasan proses autentikasi serta pengiriman data ke *cloud* menggunakan protokol MQTT. [7] Perbedaan utama *Blynk* dan *Arduino IoT Cloud* dapat dilihat pada Tabel 2.15 berikut.

Tabel 2.15 Perbedaan *Blynk* dan *Arduino IoT Cloud*

Fitur	Blynk	Arduino IoT Cloud
Fokus Platform	Platform IoT yang independen dan kompatibel luas dengan berbagai <i>hardware</i> (Arduino, ESP32, Raspberry Pi, dll.).	Platform IoT yang terintegrasi secara ketat dengan ekosistem Arduino (<i>board</i> resmi Arduino, Arduino IDE, dan bahasa pemrograman Arduino).
Kemudahan Penggunaan	Sangat mudah, dengan antarmuka drag-and-drop untuk membuat <i>dashboard</i> di aplikasi seluler/web.	Mudah, terutama bagi pengguna Arduino. Integrasi mulus dengan Arduino IDE dan fitur

Fitur	Blynk	Arduino IoT Cloud
	Mengutamakan kemudahan tanpa <i>coding</i> berlebih.	<i>sketch generation</i> yang menghasilkan kode dasar secara otomatis.
Keterkaitan Hardware	Mendukung banyak jenis hardware . Perangkat Arduino hanyalah salah satu opsi di antara yang lain.	Prioritas dan optimasi utama untuk <i>board</i> resmi Arduino (seperti MKR, Nano RP2040 Connect, dll.), meskipun beberapa <i>board</i> pihak ketiga juga didukung.
Integrasi Ekosistem	Umumnya berfokus pada fungsionalitas <i>dashboard</i> , kontrol, dan notifikasi.	Terintegrasi dengan alat pengembangan Arduino lainnya, termasuk fitur " Things " dan " Variables " untuk definisi data yang terstruktur.
Otonomi Server	Menawarkan <i>Blynk Cloud</i> publik atau opsi untuk menjalankan <i>Blynk Server lokal</i> sendiri (<i>self-hosted</i>).	Hanya menggunakan server cloud publik yang dikelola oleh Arduino.

[7], [35]

Blynk dan *Arduino IoT Cloud* juga memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri, seperti yang dapat dilihat sebagai berikut:

1. *Blynk*

Kelebihan :

- Kompatibilitas Luas: Mendukung hampir semua *hardware* populer (ESP8266, ESP32, Arduino, Raspberry Pi).
- UI/UX Intuitif: Pembuatan *dashboard* yang sangat cepat dan visual dengan metode *drag-and-drop*.
- Server Lokal: Opsi untuk memasang *Blynk Server* sendiri (untuk proyek skala besar atau kebutuhan keamanan data).

Kekurangan :

- Batasan Fitur Gratis: Versi gratis memiliki batasan ketat (jumlah *device*,

widget/datastreams, retensi data).

- Fokus Data Historis: Retensi data historis (penyimpanan data lama) terbatas pada paket gratis dan paling dasar.
- Model Energi Lama (Blynk Legacy): Meskipun sudah beralih ke model langganan, *Blynk Legacy* menggunakan sistem Energy yang sering membingungkan pengguna baru. [35]

2. *Arduino IoT Cloud*

Kelebihan:

- Integrasi Mulus dengan Arduino: Sangat mudah digunakan jika Anda sudah familiar dengan ekosistem Arduino (IDE, *library*).
- Generasi Kode Otomatis: Otomatis menghasilkan kerangka kode (*sketch*) berdasarkan *device* dan variabel yang Anda definisikan di *cloud*.
- "Things" dan "Variables": Struktur pengelolaan data yang sangat jelas dan terintegrasi dengan baik.
- Integrasi dengan Arduino IDE: Dapat diakses dan dikelola langsung dari *web editor* Arduino.

Kekurangan:

- Keterbatasan *Hardware*: Lebih terbatas pada *board* resmi Arduino dan *board* yang kompatibel. Kurang fleksibel jika Anda menggunakan *hardware* non-Arduino yang kurang populer.
- Fungsi Aplikasi Seluler: Walaupun ada, antarmuka dan penyesuaian *dashboard* di aplikasi seluler mungkin kurang fleksibel dibandingkan Blynk.
- Tidak Ada Server Lokal: Tidak ada opsi untuk menjalankan server Anda sendiri (*self-hosted*). [7]

Alasan penulis memilih *Arduino IoT Cloud* dibandingkan dengan *Blynk* didasari oleh faktor-faktor berikut:

1. Fokus pada Ekosistem Arduino.
2. Kemudahan Pemula Arduino: Bagi pengguna untuk para petani yang baru memulai, fitur generasi kode otomatis dari *Arduino IoT Cloud* sangat membantu untuk prototyping cepat dan menghindari kesalahan syntax awal.
3. Struktur Data Terdefinisi: Konsep Things (Perangkat) dan Variables (Variabel

Data) memberikan cara yang lebih terstruktur dan clean untuk mengelola data, yang bermanfaat untuk proyek yang lebih kompleks atau berbasis akademik.

4. Biaya yang lebih murah dibandingkan langganan pada *Blynk*. [7], [35]

Kedua *platform* memiliki paket gratis dan berbayar (langganan), namun dengan batasan yang berbeda. Berikut merupakan Tabel 2.16 dan Tabel 2.17 perbedaan biaya langganan pada kedua *platform*:

1. *Blynk*

Tabel 2.16 Harga *Subscription Blynk*

Paket	Harga	Batasan Utama (Contoh)	Cocok Untuk
Free	\$0	5 Device, 10 Datastreams per Template, 1 Minggu Data Historis.	Eksplorasi & Belajar Dasar.
Pro	Mulai dari sekitar \$99/bulan	50 Device atau lebih, Unlimited Messages, 6 Bulan Data Historis, fitur PRO lainnya.	Prototyping Komersial & Bisnis Kecil.

[35]

2. *Arduino IoT Cloud*

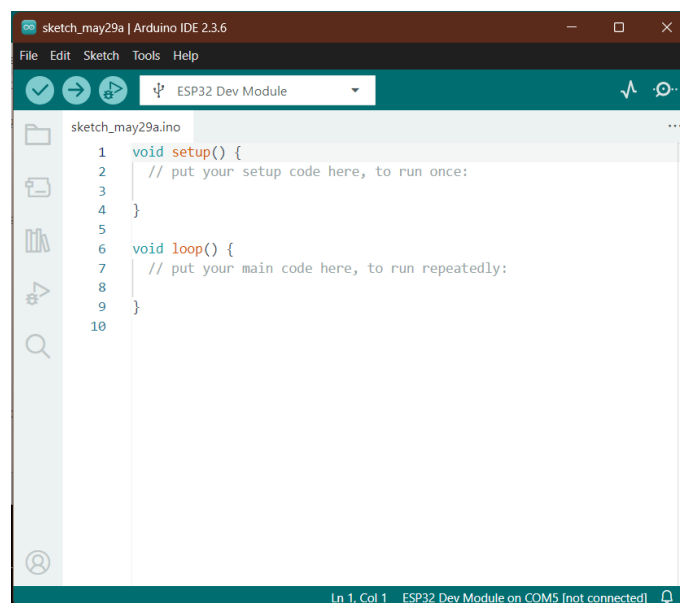
Tabel 2.17 Harga *Subscription Arduino IoT Cloud*

Paket	Harga Tahunan (Perkiraan)	Batasan Utama (Contoh)	Cocok Untuk
Free	\$0	2 Things, 1 Board (Perangkat), 10 Variabel Data, Retensi data terbatas.	Eksperimen Pribadi Sederhana.
Maker	Sekitar \$6.99/bulan	10 Things, 15 Boards, penyimpanan data	Proyek Hobi dan Maker yang Lebih Serius.

Paket	Harga Tahunan (Perkiraan)	Batasan Utama (Contoh)	Cocok Untuk
	(jika dibayar tahunan)	lebih lama, <i>dashboard</i> yang lebih kompleks.	
Maker Pro	Sekitar \$100/bulan (jika dibayar tahunan)	100 <i>Things</i> , 50 <i>Boards</i> , fitur <i>Over-The-Air</i> (OTA) <i>Update</i> ke banyak <i>device</i> , analitik lanjutan.	Pengembang Profesional & Skala Kecil/Menengah.

[7]

2.13 *Arduino IDE*



Gambar 2.24 *Arduino IDE*

Arduino adalah *platform* elektronik yang terbuka dan mudah digunakan, didasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak. Papan *Arduino* pada Gambar 2.24 dapat mengonversi berbagai *input*, seperti cahaya dari sensor, tekanan dari tombol, atau pesan Twitter, menjadi *output* yang beragam, seperti menggerakkan motor, menyalakan LED, atau mempublikasikan informasi secara *online*. Pengguna dapat mengontrol papan *Arduino* dengan mengirimkan instruksi kepada mikrokontroler

yang terdapat di dalamnya menggunakan bahasa pemrograman *Arduino*, yang didasarkan pada *Wiring*, dan Perangkat Lunak *Arduino* (IDE), yang didasarkan pada *Processing*. Awalnya dikembangkan di *Ivrea Interaction Design Institute* sebagai alat prototyping yang mudah digunakan, *Arduino* dirancang untuk memungkinkan siswa tanpa pengalaman dalam bidang elektronik dan pemrograman untuk membuat *prototype* dengan cepat. Namun, seiring dengan berkembangnya komunitas, *Arduino* mulai menyesuaikan diri dengan berbagai kebutuhan dan tantangan baru, menjadi lebih dari sekadar papan 8-bit sederhana. Kini, *Arduino* menyediakan solusi untuk berbagai aplikasi seperti IoT, perangkat *wearable*, pencetakan 3D, dan lingkungan tertanam. Adapun keunggulan *Arduino* sebagai berikut, papan *Arduino* yang relative murah dibandingkan dengan *platform* mikrokontroler lainnya, dapat digunakan lintas *platform* dikarenakan *Arduino* IDE berjalan pada sistem operasi *Windows*, *Macintosh*, *OSX*, dan *Linux*. Lingkungan pemrograman yang sederhana, *open source*, serta dapat diperluas perangkat lunak maupun perangkat keras. [36]

2.14 Software Development Life Cycle (SDLC)

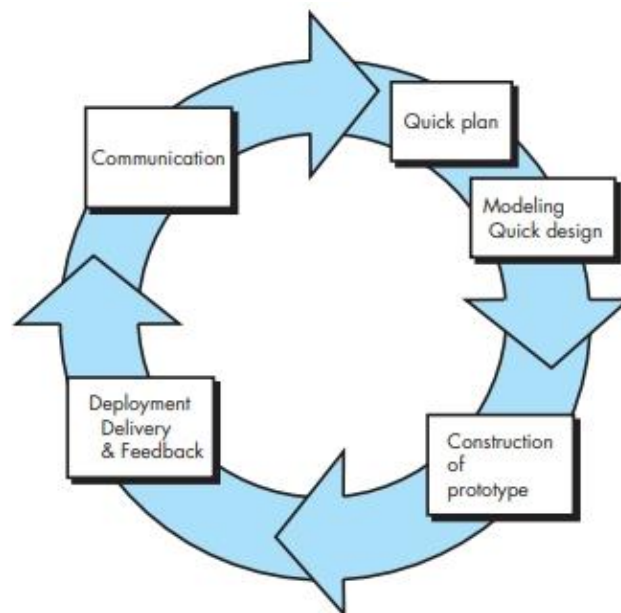
Software Development Life Cycle (SDLC) adalah fase aktivitas yang harus dilakukan oleh pengembang sistem untuk menciptakan sistem yang dapat dioperasikan oleh organisasi pengguna sistem. Metode SDLC merupakan tahap pertama pengembangan sistem informasi yang dilakukan oleh analis sistem dan programmer untuk membangun suatu sistem informasi. SDLC juga dapat dianggap sebagai kerangka kerja yang diadopsi dalam pengembangan sistem perangkat lunak, yang meliputi langkah-langkah seperti perencanaan (*planning*), analisis (*analysis*), perancangan (*design*), implementasi (*implementation*), pengujian (*testing*), dan pemeliharaan (*maintenance*). [37]

2.14.1 Metode Prototype

Sering kali pengguna menentukan serangkaian tujuan secara umum untuk perangkat lunak maupun perangkat keras. Akan tetapi masih belum dapat mengidentifikasi persyaratan rinci untuk fungsi dan fitur dari sistem. Di sisi lain, pengembang sesekali tidak yakin mengenai efisiensi, algoritma, dan bentuk

interaksi manusia dan computer yang harus diambil untuk sistem. Dalam kondisi tersebut metode *prototype* dapat menjadi solusi yang baik. Metode *Prototype* merupakan metode yang memungkinkan pengguna dan pengembang bekerja sama untuk memahami apa yang akan dibangun Ketika persyaratan sistem baik perangkat lunak maupun perangkat keras masih belum jelas. [38]

Prototype adalah model yang mewakili produk yang belum memiliki semua fitur dari produk akhir, tetapi sudah memiliki fitur utama yang relevan. *Prototype* digunakan untuk memberikan gambaran aplikasi, memungkinkan pengguna berinteraksi dan bereksperimen dengan sistem. Dalam proses ini, pengguna dapat memberikan umpan balik untuk menyempurnakan persyaratan sistem agar sesuai dengan kebutuhan mereka. Pendekatan ini membantu pengguna yang kesulitan mengungkapkan persyaratan sistem melalui evaluasi *prototype*. [39]



Gambar 2.25 Metode *Prototype* Menurut Roger S. Pressman

Sumber: R. S. Pressman and B. R. Maxin, “*Software Engineering : a Practitioner’s Approach*,” 2015

Menurut Roger S. Pressman, metode *Prototype* memiliki beberapa tahapan yang berulang dalam pengembangan perangkat lunak yaitu : 1) *Communication*, 2) *Quick plan* dan *Modeling Quick Design*, 3) *Construction of prototype*, 4) *Deployment Delivery & Feedback* seperti pada Gambar 2.25. [38]

Berikut penjelasan lengkap mengenai tahapan metode *prototype*:

1. *Communication*: Tahap komunikasi melibatkan diskusi dengan calon pengguna sistem untuk menetapkan tujuan keseluruhan perangkat lunak. Pada tahap ini, pengembang juga akan mengidentifikasi persyaratan yang sudah diketahui dan menguraikan area yang membutuhkan penjelasan lebih lanjut. Komunikasi yang efektif dengan pengguna sangat penting untuk memastikan pemahaman yang jelas mengenai kebutuhan dan tujuan sistem.
2. *Quick plan* dan *Modeling Quick Design*: Setelah melakukan tahap komunikasi awal, tahap perencanaan cepat dilakukan. Pengembang merencanakan iterasi pembuatan *prototype* dengan cepat. Lalu pemodelan dilakukan dalam bentuk “desain cepat”. Desain cepat berfokus pada representasi aspek-aspek perangkat lunak yang akan terlihat oleh pengguna akhir, seperti tata letak antarmuka pengguna atau format tampilan *output*. Desain ini kemudian menjadi dasar untuk pembuatan *prototype*.
3. *Construction of Prototype*: Tahap ini melibatkan implementasi *prototype* berdasarkan desain cepat yang telah dibuat pada tahapan sebelumnya. *Prototype* ini akan menjadi representasi awal dari perangkat lunak yang akan dikembangkan. Setelah *prototype* selesai, pengguna akan mengevaluasi dan memberikan umpan balik mengenai *prototype* tersebut.
4. *Deployment Delivery & Feedback*: Pada tahap ini, *prototype* disampaikan kepada pengguna. *Prototype* akan digunakan oleh para pengguna dan akan memberikan umpan balik yang berguna untuk memperjelas persyaratan dan kebutuhan yang perlu dipertimbangkan. Umpan balik ini digunakan untuk memperbaiki dan mengkaji kembali persyaratan kebutuhan yang ada. Proses iterasi terjadi saat *prototype* masih memerlukan penyesuaian untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Selama tahapan ini, pemahaman yang lebih mendalam tentang persyaratan kebutuhan dan langkah – langkah selanjutnya akan diperoleh.

2.15 *Unified Modeling Language (UML)*

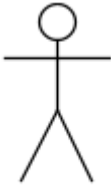
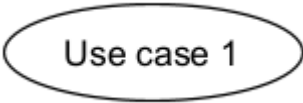
Unified Modelling Language atau UML adalah alat visual yang digunakan untuk menggambarkan analisis dan desain sistem. Banyak perancang sistem informasi menggunakan diagram UML untuk membantu tim proyek berkomunikasi,

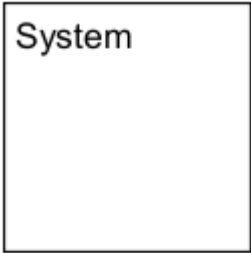
mengeksplorasi opsi desain, dan memvalidasi arsitektur perangkat lunak atau program. Tujuan utamanya adalah memvisualisasikan sistem secara grafis dan menyediakan cara representasi model yang jelas. Dengan UML, tim proyek dapat lebih mudah memahami dan mengembangkan sistem yang kompleks. [40]

2.15.1 Use Case Diagram

Use Case adalah deskripsi tentang fungsi-fungsi sistem yang bertujuan untuk membantu pengguna memahami cara kerja sistem yang dibuat. Oleh karena itu, pembuatan *Use case* diagram berfokus pada fungsionalitas sistem, bukan pada alur kerja sistem. *Use case* bekerja dengan menjelaskan jenis interaksi antara pengguna atau aktor dengan sistem yang dibuat. *Use case* menggambarkan aktor, *Use case*, dan hubungan mereka sebagai rangkaian tindakan yang memberikan nilai bagi aktor.[40] Komponen utama *use case* diagram terdiri dari tiga komponen dasar yang saling terkait seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.18 berikut:

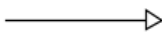
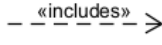
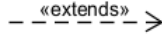
Tabel 2.18 Komponen *Use Case*

Komponen Dasar	Simbol	Deskripsi
Aktor (<i>Actor</i>)	 Actor	Merepresentasikan entitas eksternal yang berinteraksi dengan sistem, baik itu manusia (seperti pengguna atau administrator), sistem lain, maupun perangkat keras yang menjadi sumber <i>input</i> atau tujuan <i>output</i> .
<i>Use Case</i>	 Use case 1	Merepresentasikan serangkaian langkah atau aktivitas yang dilakukan sistem untuk

		menghasilkan nilai yang dapat diamati oleh aktor tertentu. Kasus penggunaan menggambarkan sebuah tujuan fungsionalitas dan digambarkan sebagai oval.
Batas Sistem (<i>System Boundaries</i>)		Merepresentasikan cakupan fungsionalitas sistem yang dimodelkan. Digambarkan sebagai persegi panjang yang mengelilingi semua kasus penggunaan.

Terdapat beberapa jenis hubungan yang dapat memodelkan interaksi dan ketergantungan antar kasus penggunaan atau antara aktor dan kasus penggunaan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.19 berikut:

Tabel 2.19 Jenis Hubungan *Use case*

Jenis Hubungan	Simbol	Deskripsi
Asosiasi (<i>Association</i>)		Menghubungkan aktor dengan kasus penggunaan yang dilakukannya.
<i>Include</i>		Menunjukkan bahwa satu kasus penggunaan secara wajib memanggil atau memasukkan fungsionalitas kasus penggunaan lain (umumnya fungsionalitas yang diulang-ulang) untuk diselesaikan.
<i>Extend</i>		Menunjukkan bahwa kasus penggunaan opsional

Jenis Hubungan	Simbol	Deskripsi
		(ekstensi) dapat memperluas fungsionalitas kasus penggunaan dasar dalam kondisi tertentu (misalnya, kondisi pengecualian atau <i>error</i>).

Use case Diagram memiliki peranan fundamental dalam fase analisis kebutuhan (*requirements analysis*) dan komunikasi proyek:

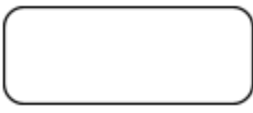
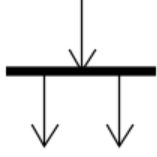
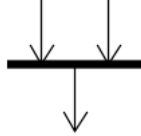
1. Identifikasi Kebutuhan Fungsional: Diagram ini menyediakan pandangan level tinggi mengenai semua kebutuhan fungsional sistem, memfasilitasi identifikasi dan pengorganisasian persyaratan awal.
2. Komunikasi dengan *Stakeholder*: Karena sifatnya yang non-teknis dan mudah dipahami, diagram ini menjadi alat komunikasi yang efektif antara tim pengembang dengan pengguna akhir dan *stakeholder* lainnya.
3. Basis untuk Pengujian: Setiap kasus penggunaan yang terdefinisi dapat dijadikan dasar untuk membuat skenario pengujian (*test cases*) guna memvalidasi bahwa sistem telah memenuhi fungsionalitas yang disepakati.

Pada intinya, *Use case Diagram* menjawab pertanyaan "Apa yang harus dilakukan sistem ini untuk memenuhi kebutuhan penggunanya?" dan menjadi titik awal untuk pengembangan diagram UML yang lebih detail dan spesifik.

2.15.2 Activity Diagram

Activity Diagram adalah salah satu jenis diagram dalam *Unified Modeling Language* (UML) yang digunakan untuk memodelkan alur kerja (*workflow*) atau aktivitas dalam suatu sistem. Diagram ini menggambarkan urutan aktivitas, keputusan, dan aliran kontrol dari satu aktivitas ke aktivitas lainnya. *Activity Diagram* sangat berguna dalam menggambarkan proses bisnis atau alur kerja sistem, menunjukkan urutan aktivitas dan keputusan dalam suatu proses, memodelkan aktivitas paralel dan percabangan alur kerja, menganalisis dan mendokumentasikan kebutuhan fungsional sistem. Simbol-simbol umum dalam *Activity Diagram* dapat dilihat pada Tabel 2.20 berikut:

Tabel 2.20 Komponen *Activity Diagram*

No	Komponen Diagram	Simbol	Deskripsi
1	<i>Initial Node</i>		Menandai awal dari alur aktivitas
2	<i>Activity</i>		Menunjukkan suatu tindakan atau proses
3	<i>Decision Node</i>		Menyatakan titik percabangan berdasarkan kondisi
4	<i>Fork Node</i>		Memisahkan alur menjadi beberapa aktivitas paralel
5	<i>Join Node</i>		Menggabungkan aktivitas paralel menjadi satu alur
6	<i>Final Node</i>		Menandai akhir dari alur aktivitas
7	<i>Control Flow</i>		Menunjukkan urutan eksekusi antar aktivitas [41]

2.16 *Black Box Testing*

Pengujian *Black Box* adalah metode pengujian yang berfokus pada antarmuka dan fungsionalitas aplikasi. Tujuannya adalah untuk memeriksa apakah antarmuka sesuai dengan alur fungsi yang dibutuhkan pengguna tanpa melihat kode sumber program. Pengujian ini melibatkan pemeriksaan respons sistem terhadap interaksi tertentu, dengan penekanan pada interaksi dan bukan pada mekanisme operasional sistem.[42]

Fokus utama Pengujian *Black Box* adalah pada apa yang dilakukan sistem, bukan bagaimana sistem melakukannya. Tujuan fundamental dari pengujian ini adalah untuk memeriksa apakah antarmuka sesuai dengan alur fungsi yang dibutuhkan pengguna tanpa melihat kode sumber program. Pengujian ini melibatkan pemeriksaan respons sistem terhadap interaksi tertentu, dengan penekanan pada interaksi dan bukan pada mekanisme operasional sistem.[42]

Dengan kata lain, pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi hal-hal berikut:

1. **Fungsionalitas:** Apakah semua fungsi yang dijanjikan dalam spesifikasi kebutuhan (misalnya, *login*, pencarian data, penyimpanan data) berfungsi dengan benar dari ujung ke ujung.
2. **Antarmuka Pengguna (UI/UX):** Apakah antarmuka mudah digunakan, intuitif, dan responsif.
3. **Kesesuaian Spesifikasi:** Apakah *input* yang diberikan menghasilkan *output* yang diharapkan sesuai dengan dokumen persyaratan.

Pengujian *Black Box* dilaksanakan menggunakan beberapa teknik perancangan kasus uji (*test case design*) untuk memaksimalkan cakupan pengujian dengan jumlah kasus uji yang efisien. Beberapa teknik yang paling umum digunakan pada penelitian adalah:

1. **Partisi Ekuivalensi (*Equivalence Partitioning*):** Teknik ini membagi data *input* menjadi partisi (kelas) yang diasumsikan berperilaku sama. Jika satu nilai dalam partisi menghasilkan *output* yang valid atau invalid, maka nilai lain dalam partisi yang sama diasumsikan akan memberikan hasil yang sama. Tujuannya adalah mengurangi jumlah *test case* yang diperlukan tanpa mengurangi cakupan.
2. **Analisis Nilai Batas (*Boundary Value Analysis*):** Teknik ini berfokus pada pengujian nilai-nilai di sekitar batas partisi ekuivalensi (nilai minimum, maksimum, tepat di atas, dan tepat di bawah batas). Nilai-nilai batas cenderung menjadi area di mana kesalahan pemrograman sering terjadi.
3. **Pengujian Tabel Keputusan (*Decision Table Testing*):** Teknik ini digunakan untuk menguji sistem yang memiliki banyak kondisi dan tindakan yang berbeda. Sebuah tabel dibuat untuk memvisualisasikan semua kombinasi kondisi

input yang mungkin dan hasil *output* yang diharapkan. Ini memastikan bahwa setiap aturan bisnis atau logika keputusan telah diuji.

4. **Pengujian Transisi Status (*State Transition Testing*):** Teknik ini menguji perilaku sistem saat berpindah dari satu status (*state*) ke status lain akibat dari *input* atau aksi tertentu. Ini sangat berguna untuk aplikasi yang memiliki alur kerja atau "keadaan" yang dapat berubah, seperti aplikasi e-commerce (misalnya, dari status "menambahkan ke keranjang" ke "checkout").

5. **Pengujian Kasus Penggunaan (*Use Case Testing*):** Teknik ini berfokus pada pengujian interaksi pengguna dengan sistem dari awal hingga akhir. Kasus uji dibuat berdasarkan skenario penggunaan aktual yang mungkin dilakukan oleh pengguna, seperti "menambahkan produk ke keranjang belanja" atau "melakukan pembayaran." Ini membantu memastikan bahwa alur kerja utama aplikasi berfungsi dengan benar dari perspektif pengguna.

Keunggulan Pengujian *Black Box*

1. **Perspektif Pengguna:** Pengujian dilakukan dari sudut pandang pengguna akhir, sehingga hasilnya lebih relevan dengan pengalaman pengguna.
2. **Independensi:** Penguji tidak memerlukan pengetahuan tentang kode atau struktur internal, memungkinkan pengujian dilakukan secara independen dari pengembang.
3. **Deteksi Kesalahan Fungsional:** Sangat efektif dalam menemukan kesalahan dalam spesifikasi, implementasi persyaratan, dan kesalahan pada antarmuka.

2.17 *Field Validation Testing*

Field Validation Testing adalah tahap pengujian formal dan krusial yang bertujuan untuk memverifikasi bahwa sistem, produk, atau hipotesis dapat beroperasi secara andal dan akurat di lingkungan operasional yang sesungguhnya (*real-world environment*), bukan hanya di lingkungan yang terkontrol atau disimulasikan di laboratorium. Nama lain dari pengujian ini seringkali mencakup *In-Situ Testing*, *Operational Environment Testing*, atau *Real-World Validation*. [38]

1. **Tujuan Utama Pengujian Validasi Lapangan**

Pengujian ini dirancang untuk mengungkap masalah yang tidak mungkin terdeteksi

selama pengujian di laboratorium, yaitu masalah yang muncul akibat interaksi kompleks antara sistem dengan lingkungan nyata dan pengguna akhir. Tujuan utamanya meliputi:

- a. Verifikasi Fungsionalitas Operasional: Memastikan bahwa semua fungsi sistem berjalan sesuai spesifikasi ketika dipasang di lingkungan yang dituju.
- b. Pengujian Ketahanan (*Robustness*): Mengevaluasi kemampuan sistem untuk bertahan dari kondisi nyata yang fluktuatif (misalnya, variasi suhu, gangguan listrik, fluktuasi jaringan komunikasi, atau interferensi lingkungan) tanpa kegagalan atau degradasi kinerja.
- c. Validasi Akurasi Lapangan (*Real-World Accuracy*): Membandingkan data yang dihasilkan oleh sistem (misalnya, pembacaan sensor IoT) dengan data yang diukur oleh alat ukur standar atau tersertifikasi (*ground truth*) di lokasi pengujian.
- d. Kepuasan dan Kebutuhan Pengguna: Memastikan bahwa sistem memenuhi kebutuhan fungsional dan non-fungsional pengguna di lapangan, seperti yang diungkapkan oleh Roger S. Pressman.

2. Metodologi dan Karakteristik

Field Validation Testing biasanya merupakan tahap terakhir dari proses *testing* dan mendahului *deployment* penuh. Karakteristik utama pengujian ini meliputi:

- a. Lingkungan Tidak Terkendali: Pengujian dilakukan di lokasi akhir sistem akan dioperasikan, yang berarti peneliti harus menerima dan mencatat semua variabel lingkungan yang tidak terduga sebagai bagian dari hasil pengujian.
- b. Durasi yang Lebih Panjang: Pengujian ini sering memerlukan durasi yang lebih lama (mingguan atau bulanan), terutama dalam konteks sistem pertanian atau lingkungan, untuk menangkap tren dan fluktuasi musiman yang mempengaruhi kinerja sistem.
- c. Validasi Komparatif: Jika sistem baru dirancang untuk menggantikan metode lama (misalnya, IoT menggantikan manual), pengujian validasi lapangan akan sering melibatkan pengujian komparatif untuk membuktikan bahwa solusi baru secara statistik lebih unggul atau setidaknya sama andalnya dengan metode konvensional.

2.18 Korelasi *Pearson*

Analisis korelasi merupakan salah satu teknik statistik yang digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel yang bersifat kuantitatif. Korelasi *Pearson Product Moment* dilambangkan dengan (*r*) dan digunakan untuk menguji hipotesis hubungan antara dua variabel, bila data kedua variabel berbentuk interval atau rasio dan sumber data dari dua variabel atau lebih tersebut adalah sama. [43] Uji korelasi *Pearson* bertujuan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier antara dua variabel kontinu. Koefisien korelasi memiliki nilai antara -1 hingga +1. Nilai -1 menunjukkan hubungan linier negatif sempurna, nilai +1 menunjukkan hubungan linier positif sempurna, dan nilai 0 menunjukkan tidak adanya hubungan linier. [44] Dalam konteks penelitian sistem monitoring (IoT), uji ini relevan digunakan untuk mengetahui apakah parameter lingkungan (seperti suhu) memiliki hubungan yang signifikan terhadap parameter kualitas air (seperti TDS atau pH).

Untuk menghitung koefisien korelasi (*r*) antara variabel *X* dan variabel *Y*, digunakan rumus pada Gambar 2.26 berikut:

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\}\{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

Gambar 2.26 Koefisien Korelasi *Pearson*

Keterangan:

- r_{xy} : Koefisien korelasi *Pearson* antara variabel *X* dan *Y*
- n : Jumlah sampel/data
- x : Nilai variabel independen 1
- y : Nilai variabel independen 2
- $\sum_{xy}$: Jumlah perkalian nilai *X* dan *Y*

Kekuatan hubungan antar variabel ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi yang diperoleh. Berikut adalah pedoman interpretasi koefisien korelasi yang umum

digunakan sebagai acuan:

Tabel 2.21 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Selain melihat kekuatan hubungan, arah hubungan juga ditentukan oleh tanda positif (+) atau negatif (-) pada nilai r:

1. **Korelasi Positif (+):** Jika variabel X naik, maka variabel Y juga ikut naik (searah).
2. **Korelasi Negatif (-):** Jika variabel X naik, maka variabel Y akan turun (berlawanan arah). [43]

2.19 Penelitian Terkait

2.19.1 SLiCE: Implementation of automation technology and Internet of Things in the greenhouse. (Iwan Kurnianto Wibowo, Bayu Sandi Marta, Eko Susanto, Mochamad Mobed Bachtiar, Mochamad Farham Eka Widarto, Ahmad Hanan Asy-Syafie, Rafi Ahmad Romolo, 2023)

Penelitian ini menggunakan *ESP32* sebagai Mikrokontroller lalu menggunakan tiga sensor yaitu pH sensor untuk mengukur kadar pH yang ada dalam tangki air, TDS sensor untuk mengukur kandungan nutrisi dalam air, dan temperature sensor untuk mengukur suhu di dalam *greenhouse*. Data – data yang telah diambil oleh sensor kemudian ditampilkan pada layar LCD 16x2 dan dikirimkan ke Firebase database tiap menit menggunakan koneksi internet. Pada Firebase database, data akan langsung diolah dan divisualisasikan pada web interface milik firebase untuk kebutuhan *monitoring* secara *real-time*. [45]

2.19.2 Desain *Smart Nutrition Monitoring System* Teknik Budidaya Hidroponik Kangkung Berbasis *Internet of Things*. (Danang Kumara Hadi, Darma Arif Wicaksono, Rendy Anggriawan, Asih Imer Rita, Ahmad Zulfan, 2023)

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan nutrisi berbasis IoT untuk budidaya kangkung (*Ipomea aquatica*). Sistem ini menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor TDS, sensor DHT11, dan *Arduino IoT Cloud* untuk pemantauan jarak jauh, dengan *setpoint* nutrisi disesuaikan usia tanaman (600, 700, dan 1.000 ppm). Hasil penelitian menunjukkan akurasi sensor rata-rata 99% dan pertumbuhan optimal dengan bobot 70 gr/netpot tanpa gejala defisiensi atau toksisitas. Sistem ini mempermudah petani dalam mengontrol kondisi lingkungan secara *real-time*, mengurangi risiko kesalahan manusia, dan meningkatkan efisiensi serta hasil panen hidroponik.[46]

2.19.3 Perancangan Monitoring & Pengontrol pH Sayuran Sawi Hidroponik Berbasis IoT (Internet of Things). (Dimas Galuh Pratama, Joni Maulindar, Ratna Puspita Indah, 2023)

Penelitian ini menggunakan metode *prototype* untuk melakukan pengembangan sistemnya. Menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler utama dan terhubung dengan modul sensor pH untuk mengukur kadar pH air hidroponik. Pada penelitian ini juga menggunakan aplikasi *Arduino IDE* dan *Arduino IoT Cloud*. Hasil dari penelitian ini adalah sensor pH dapat mengukur pH yang terdapat dalam air di tanaman hidroponik dan dikirimkan ke NodeMCU 8266 yang akan memberi perintah untuk menurunkan kadar pH ataupun menaikkan kadar pH. Alat ini dapat di implementasikan ke berbagai tanaman hidroponik lainnya dan alat ini mampu bekerja sesuai program yang sudah dimasukkan ke dalam NodeMCU 8266 sehingga mampu membantu dalam melakukan monitoring pengontrol pH dan masih banyak pengembangan yang bisa dilakukan seperti menambahkan sensor suhu, kelembapan udara dll.[47]

2.19.4 Sistem Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas LPG Otomatis Berbasis *Arduino* Uno Menggunakan Metode *Prototype*. (Yosa Anggara Hasan, 2022)

Penelitian ini menggunakan metode *prototype* untuk pengembangan sistemnya. Menggunakan *Arduino* Uno sebagai mikrokontroler utama dan menggunakan sensor gas yang berfungsi sebagai pendeteksi gas. Hasil dari penelitian ini adalah sistem dapat mendeteksi kebocoran gas dan mengirimkan SMS secara otomatis sesuai dengan nilai kadar gas. [48]

2.19.5 Implementasi Sistem Monitoring Lingkungan Pada Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis IoT. (Ariski Pratama, Styawati, S. Samsugi, Syahirul Alim, 2024)

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem berbasis IoT menggunakan mikrokontroler *ESP32* yang memantau dan mengontrol parameter lingkungan (pH, TDS, suhu, dan kelembapan) dalam budidaya hidroponik metode Nutrient Film Technique (NFT). Dengan sensor pH, TDS, dan DHT, serta halaman web untuk pemantauan *real-time*, sistem ini mengoptimalkan efisiensi dan produktivitas. Hasil penelitian menunjukkan error sensor yang rendah (pH: 0,1%, TDS: 0,2%) dan pertumbuhan tanaman optimal tanpa defisiensi atau toksisitas. Sistem ini mendukung pengelolaan nutrisi dan lingkungan secara akurat, berkelanjutan, dan dapat diakses dengan mudah.[49]

2.19.6 Pengembangan Sistem Kontrol Nutrisi Budidaya Hidroponik Berbasis IoT (*Internet of Things*) Sawi Samhong (*Brassicasinensis* L.). (Renny Eka Putri, Hammam Mananda Harahap, Irriwad Putri, 2023)

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol otomatis menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor TDS, dan *Arduino* IoT *Cloud*. Sistem ini diterapkan pada metode hidroponik rakit apung untuk memantau dan menambah nutrisi (ppm) secara *real-time*, meningkatkan efisiensi budidaya sawi samhong. Hasil penelitian menunjukkan akurasi sensor tinggi ($R^2 = 0.9653$), pompa peristaltik berfungsi baik, dan tanaman menghasilkan rata-rata 12 helai daun, lebih unggul dibandingkan metode konvensional. Sistem ini mendukung pertanian modern dengan efisiensi tinggi dan keberlanjutan.[50]

2.19.7 *Prototype* Sistem Monitoring Nutrisi dan Tingkat pH Air pada Budidaya Hidroponik Sayur Pakcoy menggunakan Teknologi *Internet of Things* (IoT). (Mafana Nur Hamidah, Nova Indah Safitri, Dimas Wira Akbar, Olivia Sherly Indah Uly, Danny Kurnianto, 2023.)

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor pH-4502C, dan sensor TDS. Sistem ini memungkinkan pemantauan pH air dan kandungan nutrisi secara *real-time* melalui *Arduino IoT Cloud*, mempermudah pengelolaan hidroponik pakcoy. Hasil menunjukkan akurasi sensor pH mencapai 92,09% dan TDS sebesar 73,19%. Sistem ini berfungsi dengan baik dan meningkatkan efisiensi pemantauan budidaya hidroponik.[51]

2.19.8 Pengaruh Pengaturan Suhu Air Nutrisi Hidroponik Pada Budidaya Cabai Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). (Nur Hidayat, Daryono, Eny Maria, Rusmini, La Mudi, Dyah Widyasari, 2022)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak pengaturan suhu air nutrisi terhadap pertumbuhan dan hasil cabai Habanero. Penelitian dilakukan menggunakan teknik hidroponik dutch bucket dengan dua perlakuan: tanpa pengaturan suhu (P0) dan pengaturan suhu pada 20–25°C menggunakan Resun CL-280 (P1). Variabel yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, umur berbunga, jumlah buah pertama, dan berat buah pertama. Hasil menunjukkan bahwa penurunan suhu air nutrisi memengaruhi pertumbuhan tanaman, umur berbunga, serta hasil panen, dengan analisis data dilakukan menggunakan ANOVA dan uji BNT pada tingkat kepercayaan 95%. Sistem ini memberikan hasil pertumbuhan dan produksi yang lebih baik dibandingkan tanpa pengaturan suhu.[52]

2.19.9 Design of Smart Hydroponics Monitoring System Using an ESP32 Microcontroller and the Internet of Things. (Anees Abu Sneineh, Arafat A.A. Shabaneh, 2023)

Penelitian ini menggunakan *ESP32* sebagai Mikrokontroler dan juga menggunakan sensor TDS (*total dissolve solid*) yang digunakan sebagai pengukur

kandungan nutrisi pada air, sensor pH air yang digunakan untuk mengukur kadar pH pada air hidroponik, sensor *Water Level* yang digunakan untuk mengukur ketinggian pada penyimpanan air, dan sensor temperature atau DS18B20 yang digunakan untuk mengukur suhu air. Penelitian ini menggunakan *Arduino IoT Cloud* sebagai interface untuk melihat data yang telah diambil dari sensor dan dapat mengendalikan alat yang telah dibuat. Walaupun data yang ditampilkan pada *Arduino IoT Cloud* adalah data *real-time*, namun data tersebut tidak tersimpan di *Arduino IoT Cloud* sehingga membutuhkan database untuk menyimpan data sensor agar dapat melihat perbandingan antara waktu ke waktu dalam bentuk grafik dan secara *real-time*. [53]

2.19.10 Smartcropplanting : IOT-Based *Mobile Application* for Hydroponic System. (Sung Jun Kyu, Chit Su Mon, Kashturi Subaramaniam, 2023)

Penelitian ini menggunakan metode *mixed* antara metode kuantitatif dan metode kualitatif. Metode penelitian kuantitatif digunakan untuk mengajukan pertanyaan sempit dan mengumpulkan data kuantitatif dari pelanggan yang ada atau potensial dengan mengirimkan survei *online* atau kuesioner untuk meminta pendapat. Metode penelitian kualitatif lebih difokuskan pada pengumpulan data melalui komunikasi percakapan. Metode ini tidak hanya bertanya tentang apa yang mereka pikirkan tetapi juga bertanya mengapa mereka berpikir demikian. Hasil dari penelitian ini adalah aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol tanaman hidroponik dari jarak jauh, termasuk parameter seperti pH air, suhu air, kondisi tanaman, cahaya buatan, dan pendingin air. Sistem ini menghemat waktu dan biaya laboratorium, meningkatkan kesehatan tanaman dan efektivitas panen. Meskipun dirancang untuk hidroponik rumah, pengembangan di masa depan dapat mencakup kontrol fungsi pH air, ppm air, dan baterai cadangan untuk manfaat lebih besar. [54]

2.19.11 *Development of Automated Monitoring System for Hydroponics Vertical Farming.* (G. W. Michael, F. S. Tay, Y. L. Then, 2020)

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring otomatis berbasis IoT untuk pertanian vertikal hidroponik guna mengatasi tantangan ketersediaan pangan akibat

keterbatasan lahan dan meningkatkan efisiensi budidaya tanaman, khususnya Bok Choy. Sistem dirancang menggunakan *Arduino* Mega dan NodeMCU ESP8266 untuk memantau parameter larutan nutrisi, seperti EC, pH, suhu, dan level larutan, yang terintegrasi dengan *platform* Ubidots. Dengan memanfaatkan sensor dan pompa otomatis, sistem ini mampu mengurangi konsumsi energi hingga 38,3% dibandingkan metode tradisional NFT dan mengoptimalkan pengelolaan larutan nutrisi secara efisien. Sistem ini juga menunjukkan akurasi tinggi pada sensor EC dengan tingkat kesalahan 3,22% dan mendukung otomatisasi proses yang menghemat waktu dan tenaga, menjadikannya solusi berkelanjutan untuk pertanian modern.[55]

2.19.12 iPONICS: *IoT Monitoring and Control for Hydroponics*. (K. Tatas, A. Antoniou, D. Zolotareva, 2021)

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT untuk budidaya hidroponik sayur pakcoy dengan fokus pada pemantauan pH air dan kandungan nutrisi (TDS). Sistem menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor pH-4502C, dan sensor TDS, yang diintegrasikan dengan *Arduino IoT Cloud* untuk akses *real-time*. Sistem ini dirancang, diimplementasikan, dan diuji untuk memastikan akurasi, dengan hasil menunjukkan akurasi sensor pH sebesar 92,09% dan TDS sebesar 73,19%. Hasil pengukuran ditampilkan secara *real-time* melalui smartphone, memungkinkan pengelolaan lebih efisien dibandingkan metode manual. Sistem ini menawarkan solusi praktis dan inovatif bagi petani dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi budidaya tanaman hidroponik.[56]

2.19.13 IoT-based pH Monitoring for Nutrient Absorption Efficiency in Hydroponic Plant at Pion Hidrofarm Start-Up. (Amanda Beatrice, Andi Pramono, Michael Hermawan Yuwono, Victor Runtuwene, Ida Bagus Ananta Wijaya, 2023)

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dan design thinking dalam pengembangannya. Lima tahap dalam design thinking akan dilakukan. Tahap pertama adalah empati, di mana penulis mengamati bahwa untuk menghasilkan panen yang optimal, pemantauan dan pemberian nutrisi diperlukan. Tahap kedua

adalah fase definisi, dimana penulis menemukan masalah yaitu pemantauan dan pemberian nutrisi secara manual agar petani dapat bertahan relatif lama di lahan hidroponik. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk memantau dan memberikan nutrisi secara otomatis. Dalam design thinking, tahap solusi ini memasuki tahap ketiga, yaitu ideate. Tahap keempat merupakan pembuatan *prototype* dari sistem dan pada tahap kelima merupakan pengujian sistem. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa pH air dalam hidroponik sangat penting untuk penyerapan nutrisi tanaman. Fluktuasi pH akibat fotosintesis dan respirasi tanaman memerlukan pemantauan *online* melalui perangkat berbasis IoT yang memungkinkan kontrol dari smartphone. Perangkat ini dapat menetralkan pH secara otomatis, namun membutuhkan intervensi manual jika tidak ditangani dalam waktu tertentu. Penelitian mendatang dapat mengembangkan *prototype* high-fidelity dan menambahkan sensor TDS untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil tanaman.[57]

2.19.14 *Prototype* NFT/DFT Hydroponic Data Collection Using IoT System. (IGKG Puritan Wijaya ADH, I Nyoman Rudy Hendrawan, I Made Bhaskara Gautama, I Made Arya Budhi, I Gusti Ngurah Wikranta Arsa, 2022)

Penelitian ini menggunakan metode *prototype* untuk pengembangan sistemnya. Menggunakan *ESP32* sebagai mikrokontroler utama dan terhubung dengan beberapa sensor seperti pH sensor, suhu air, sensor TDS, ketinggian air, *float* sensor, *flow* sensor, dan lainnya. Data dari sensor akan disimpan dengan format JavaScript Object Notation (JSON) dan akan disimpan ke dalam database berupa SQL melalui protocol MQTT dan akan ditampilkan pada website. Hasil dari penelitian ini adalah sistem monitoring kondisi air yang diterapkan dapat memantau pH, PPM, suhu air, debit air, dan tinggi muka air pada pipa hidroponik dari jarak jauh melalui website. Pengujian dengan 10 jenis air berbeda menunjukkan bahwa semua sensor (TDS, pH, suhu, aliran air, dan ketinggian air) berfungsi dengan baik dan dapat mengirimkan data ke website dengan baik. Data sensor yang disimpan 100% sesuai dan tervalidasi.[58]

2.19.15 *Enabling Smart Spectroscopy Via Arduino IoT Cloud.* (Krupych Andriy, Levush Pavlo, 2025)

Penelitian ini mendemonstrasikan pengembangan *platform* laboratorium jarak jauh yang cerdas, yang mengatasi keterbatasan sistem pemantauan atau kontrol konvensional dengan mengintegrasikan perangkat keras saintifik dengan *Arduino IoT Cloud*. *Arduino IoT Cloud* bertindak sebagai antarmuka pusat yang memungkinkan komunikasi dua arah (bidirectional) *real-time* melalui protokol MQTT. Melalui *dashboard* yang user-friendly, pengguna dapat mengontrol saluran warna dari sumber cahaya RGB secara remote, sementara data spektral yang ditangkap oleh spektrometer (StellarNet) segera diproses dan dikirim kembali ke *Cloud* untuk visualisasi live dalam bentuk time-series plot intensitas RGB. Konfigurasi *closed-loop* ini memungkinkan penyesuaian spektral yang presisi berdasarkan umpan balik visual, menjadikan *platform* ini solusi yang fleksibel, mudah diakses, dan modular untuk eksperimen dan penelitian fotonik dari mana saja.[59]

III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juni 2025 sampai dengan November 2025 yang bertempat di J'Sela Farm, Teluk Betung, Bandar Lampung. Berikut adalah Tabel 3.1 yang menunjukkan jadwal kegiatan penelitian yang dilakukan.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Aktivitas	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November
1	Perencanaan						
2	Pengembangan						
3	Evaluasi						
4	Penyusunan Laporan						

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Alat Penelitian

No	Perangkat	Spesifikasi	Deskripsi
1	Laptop	Processor Intel Core i5-9300H, RAM 16GB, SSD 512GB, HDD 1TB, Sistem Operasi Windows 11	Perangkat keras yang digunakan sebagai complier dalam pemrograman
2	<i>ESP32</i>	Processor Xtensa dual-core (or single-core) 32-bit LX6 microprocessor, operating at 160 or 240 MHz. Memori: 520 KB SRAM. Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE (shares the radio with Wi-Fi). 32 GPIOs. IEEE 802.11 standard security, secure boot, flash, encryption.	Mikrokontroler yang digunakan sebagai pusat pengendalian alat pemeliharaan
3	<i>Arduino IDE</i>	Versi 2.3.2	<i>Platform</i> yang digunakan untuk mengcompile program yang akan dijalankan pada <i>ESP32</i>
4	Sensor <i>pH Meter 4502C</i>	-Power : 5.0V. -Size : 43×32x20mm. -Range : 0-14pH.	Sensor yang digunakan untuk mengukur kadar pH

		-Temperature : 0-60 °C. -Accuracy : $\pm 0.1\text{pH}$ (25 °C). -Response Time : $\leq 1\text{min.}$ -BNC Connector.	dalam air
5	Ultrasonic Sensor HC-SR04	DC 5V, 15mA, 40Hz, -Range: 2cm - 4m -Angle: 15 degree -Input : 10 μ S TTL pulse -Dimensions : 45x20x15mm	Sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat ketinggian air pada tangki air
6	TDS Sensor SEN0244	Signal Transmitter Board <i>Input Voltage:</i> 3.3 ~ 5.5V, <i>Output Voltage:</i> 0 ~ 2.3V, Working Current: 3 ~ 6mA, TDS Measurement Range: 0 ~ 1000ppm, TDS Measurement, Accuracy : $\pm 10\%$ F.S. (25 °C), Module Size: 42 * 32mm, Module Interface: PH2.0-3P, Electrode Interface: XH2.54-2P TDS probe Number of Needle: 2, Total Length: 83cm, Connection Interface: XH2.54-2P, Other: Waterproof Probe	Sensor yang digunakan untuk mengukur kadar nutrisi atau kandungan terlarut pada air.
7	<i>Water Level</i>	DC3-5V, Operating current less than 20mA,	Sensor yang digunakan untuk

		Detection Area 40mmx16mm, Production process FR4 double-sided HASL, Operating temperature 10°C-30°C, Humidity: 10% - 90% non- condensing, 60mmx20mm	mengukur ketinggian air pada penampung air
8	DHT22	Daya : 3.3 ~ 5.5VDC, Range Pengukuran : 0 ~ 50°C (Suhu) dan 20 ~ 90%RH (Kelembaban), Akurasi Pengukuran : +- 2°C (Suhu) dan +- 5% RH (Kelembaban), Resolusi : 1°C (Suhu) dan 1% RH (Kelembaban)	Sensor yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban sekitar tanaman
9	Adaptor 12 V	<i>Output V : 12 V DC, Input</i> <i>V : 176-264 V 50/60Hz,</i> <i>Output Current : 3A</i>	Digunakan untuk mengubah tegangan AC menjadi DC yang akan dihubungkan pada alat
10	Step Down	<i>Input V : DC 3-40V,</i> <i>Output V : DC 1.5-35V,</i> <i>Output Current : 3A max</i> Transfer Efficiency : 92%	Digunakan untuk mengurangi tegangan dari adaptor ke PCB
11	LCD 16x2	Display Mode : STN, BLUB; Display Format : 16 char x 2 line; <i>Input</i> Data : 4-Bits or 8-Bits; Power : 5V	Digunakan untuk menampilkan data secara offline

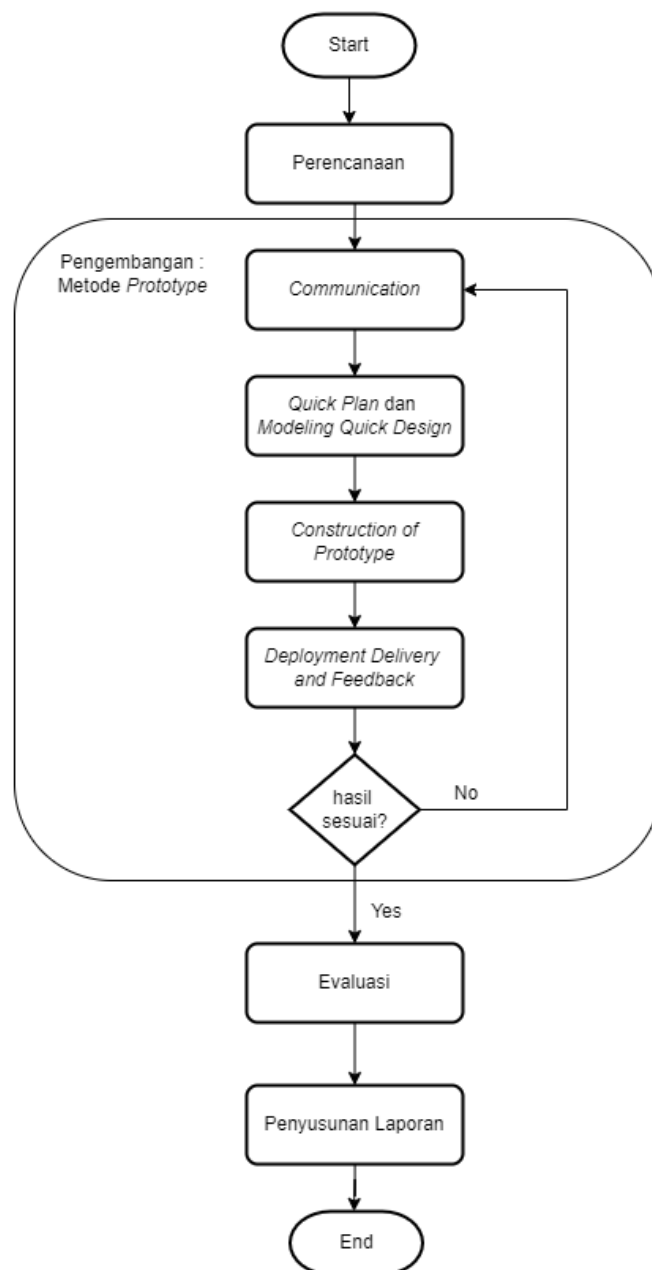
12	<i>Library Arduino</i>	• Ultrasonic.h • DHT22.h • OneWire.h • DallasTemperature.h • LiquidCrystal_I2C.h • WiFi.h • <i>Arduino IoT Cloud</i> Wire.h	<i>Library</i> yang digunakan dalam <i>Arduino</i> IDE sesuai dengan kebutuhan sensor agar sensor dapat berjalan
13	Pompa Air	• Micro Submersible Water Pump Pompa utama	Digunakan sebagai actuator untuk mengontrol ph, nutrisi, dan aliran air hidroponik

Tabel 3.3 Bahan Penelitian

No	Bahan	Kegunaan
1	Tanaman Sawi Pakcoy berumur 2 minggu	Sebagai bahan yang digunakan pada usia 2 minggu saat dipindahkan ke instalasi pipa. Alasan utama pemilihan sawi Pakcoy pada usia 2 minggu adalah karena ini adalah fase transisi kritis dari penyemaian ke pembesaran (<i>transplanting</i>), di mana tanaman mulai membutuhkan kontrol nutrisi yang presisi.
2	Nutrisi AB Mix	Sumber utama semua unsur hara. Konsentrasi diatur dan dipelihara antara 800–1000 ppm.
3	Pengendali pH Up (Basa)	Menaikkan pH jika terlalu rendah.
4	Media Tanam (<i>Rockwool</i> /Spons)	Media semai dan penopang akar di dalam <i>net pot</i> .

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi beberapa tahap, dimulai dari perencanaan, pengembangan, evaluasi, hingga penyusunan laporan. Pada tahap pengembangan digunakan metode *Prototype* dalam melakukan pengembangan sistem pemeliharaan. Diagram alir yang menunjukkan tahapan-tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3.1 Perencanaan

Tahap pertama yang dilakukan adalah perencanaan. Perencanaan dilakukan dengan beberapa kegiatan sebelum memasuki tahap pengembangan. Kegiatan yang dilakukan pada tahap perencanaan ini antara lain adalah menentukan fenomena, mengidentifikasi permasalahan, menentukan tujuan, melakukan studi literatur, dan menyusun proposal penelitian.

Penelitian ini menemukan fenomena terkait pemeliharaan hidroponik oleh petani hidroponik di J'Sela Farm. Pada fenomena ini diidentifikasi permasalahan yang dihadapi petani hidroponik dalam melakukan pemeliharaan tanaman hidroponik menggunakan cara yang manual. Permasalahan diidentifikasi melalui observasi ke tempat pertanian hidroponik berada serta wawancara yang dilakukan langsung pada salah satu petani hidroponik di J'Sela Farm, Teluk Betung, Bandar Lampung. Observasi dilakukan dengan cara mendatangi pertanian hidroponik dan memahami alur pemeliharaan tanaman hidroponik dari awal pembenihan sampai pemantauan kondisi lingkungan. Wawancara dilakukan dengan memberikan pertanyaan seputar pemeliharaan dan hasil panen untuk mengidentifikasi permasalahan yang dialami oleh para petani dalam pemeliharaan tanaman hidroponik.

Setelah menentukan permasalahan, dilakukan tahap berikutnya yaitu menentukan tujuan dari penelitian ini. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah merancang dan membangun sistem pemeliharaan hidroponik yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang dapat memantau kondisi lingkungan tanaman. Tujuan ini ditentukan dengan mempertimbangkan perancangan system pemeliharaan yang baik.

Selanjutnya melakukan studi literatur untuk memperdalam pemahaman dan teori untuk menjalankan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai referensi yang relevan dengan penelitian ini. Dari studi tersebut, dipilih metode pengembangan dan pengujian sistem yang sesuai. Metode *Prototype* dipilih sebagai landasan pengembangan, sementara itu *Blackbox* dipilih untuk menguji fungsionalitas *Arduino IoT Cloud* dan *Field Validation Testing* dipilih untuk

menguji fungsionalitas alat. Selain itu, dilakukan pengumpulan referensi dan sumber informasi sebagai dasar untuk melakukan penelitian. Kemudian, dilakukan penyusunan tinjauan pustaka sebagai dasar teoritis dalam menjalankan penelitian ini. Pada akhir tahap ini, dilakukan penyusunan proposal untuk melaksanakan penelitian.

3.3.2 Pengembangan

Penelitian ini menggunakan metode *Prototype* dalam melakukan pengembangan sistem pemeliharaan hidroponik. Tahapan secara lengkap pengembangan metode *Prototype* dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.3.2.1 Communication

Tahap ini akan mengumpulkan persyaratan sistem yang terdiri dari kebutuhan fungsional, kebutuhan non-fungsional, dan kebutuhan pengguna. Proses diskusi dijumpai dengan hasil analisis dan masukan yang didapatkan pada tahap perencanaan seperti tujuan penelitian, alur, dan masukan mengenai sistem pemeliharaan hidroponik. Tahap ini akan menghasilkan kebutuhan dan persyaratan yang harus dimiliki sistem.

3.3.2.2 Quick Plan dan Modelling Quick Design

Pada tahap ini, perencanaan dan desain *prototype* dibangun berdasarkan pengumpulan informasi yang telah diidentifikasi pada tahapan sebelumnya. Perencanaan *prototype* akan digambarkan dengan Bahasa visual *Unified Modeling Language* (UML) meliputi *Use Case Diagram* dan *Activity Diagram*. Untuk desain antarmuka pengguna digambarkan dengan tampilan desain *Apps* sistem pemantauan dari *Arduino IoT Cloud*. Untuk desain *prototype* alat digambarkan dengan arsitektur IoT yang menjelaskan hubungan antar komponen, sistem, aplikasi, dan hidroponik secara umum.

3.3.2.3 Construction of Prototype

Pada tahap ini akan mengimplementasikan hasil perencanaan dan pendesainan cepat dari tahap sebelumnya menggunakan *Arduino IoT Cloud*. Pada *Arduino IoT*

Cloud akan diterapkan *widget* sesuai dengan kebutuhan pengguna dan juga menyesuaikan *output* dari sensor agar aplikasi menampilkan data yang sesuai. Basis data sudah termasuk ke dalam *Arduino IoT cloud*. *Arduino IDE* digunakan sebagai tempat pembuatan kode pemrograman untuk alat agar dapat terhubung dengan *Arduino IoT Cloud*.

Perangkat keras akan dibangun dengan menggunakan *ESP32* sebagai inti utama dari sistem untuk mengatur sensor dan mengoneksikannya pada internet. *ESP32* akan terhubung dengan beberapa sensor berupa sensor pH air, sensor *Ultrasonic*, sensor TDS, sensor ketinggian air (*Water Level*), dan sensor DHT22. Terdapat pompa utama yang akan menyalurkan air pada hidroponik dan juga pompa kecil untuk mengalirkan larutan pH dan nutrisi ke dalam tangki utama agar kadar pH dan nutrisi tetap terjaga sesuai dengan yang dibutuhkan.

3.3.2.4 Deployment Delivery and Feedback

Pada tahap ini, sistem yang telah dibangun akan diserahkan kepada pengguna untuk dilakukan penggunaan. Tahap ini akan melakukan evaluasi serta diskusi antara pengguna dan pengembang terhadap sistem yang telah digunakan. Selama proses ini, umpan balik pengguna akan dipertimbangkan. Jika sistem dinilai sesuai dengan kebutuhan, maka proses dilanjutkan ke tahap berikutnya. Sebaliknya, jika masih terdapat kebutuhan yang belum dipenuhi oleh sistem maka iterasi tahapan akan dilakukan.

3.3.3 Evaluasi

Pada tahap ini, dilakukan peluncuran (*deployment*) sistem ke petani hidroponik. Setelah sistem berada di lingkungan hidroponik, akan dilakukan evaluasi terhadap sistem yang telah diluncurkan. Evaluasi dilakukan dengan melakukan pengujian fungsional pada aplikasi maupun alat. Pengujian fungsional pada *Arduino IoT Cloud* akan dilakukan menggunakan metode *Black Box*, di mana skenario pengujian akan ditentukan dan dieksekusi pada sistem. Sementara pengujian fungsional pada alat akan dilakukan kalibrasi dengan cara melakukan perbandingan antara sensor yang digunakan dengan alat pengukur konvensional dan juga akan dilakukan

menggunakan metode *Field Validation Testing*.

Setelah tahap pengujian selesai, dilakukan pencatatan, perhitungan, dan analisis terhadap data yang telah didapatkan. Analisis data kuantitatif dilakukan menggunakan uji statistik Koefisien Korelasi Pearson (*Pearson Product Moment*) untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier antara variabel yang direkam oleh sensor, seperti hubungan antara suhu lingkungan dengan kelembaban, serta pengaruhnya terhadap parameter larutan nutrisi (pH dan TDS). Hasil analisis korelasi ini menjadi dasar validasi logis data sensor, pengukuran kualitas sistem, penarikan kesimpulan, serta perumusan saran pada penelitian.

3.3.4 Penyusunan Laporan

Pada aktivitas penyusunan laporan, dilakukan penulisan laporan penelitian yang mencakup hasil dari tiap tahapan penelitian. Selain itu, akan dirumuskan kesimpulan dan saran setelah melakukan penelitian. Penyusunan laporan ini akan menggambarkan bagaimana penelitian berjalan serta temuan yang ada saat melakukan penelitian rancang bangun sistem pemeliharaan hidroponik tanaman sawi pakcoy menggunakan *internet of things* berbasis *Arduino IoT Cloud*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pemeliharaan hidroponik sawi Pakcoy menggunakan *Internet of Things* berbasis *Arduino IoT Cloud* telah berhasil dirancang dan dibangun melalui dua iterasi menggunakan metode *prototype*, memenuhi tujuan untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan tanaman, termasuk kadar pH, TDS, ketinggian air, serta suhu dan kelembaban udara.
2. Implementasi teknologi IoT dan *Arduino IoT Cloud* menghasilkan peningkatan efisiensi pemeliharaan dan pemantauan tanaman sawi pakcoy sebesar 97.22% (berdasarkan pengurangan total waktu kerja) dibandingkan metode konvensional. Peningkatan ini dicapai terutama melalui otomatisasi penuh pada proses pemantauan (mengurangi intervensi harian dari 180 menit menjadi 3 menit) dan pengendalian nutrisi/pH yang bersifat *real-time*.
3. *Treatment* penelitian (Sistem *IoT*) memberikan peningkatan pertumbuhan yang signifikan dibandingkan metode konvensional. Peningkatan terukur mencakup rata-rata jumlah tangkai daun yang meningkat 51.86%, rata-rata tinggi batang yang meningkat 22.30%, dan rata-rata lebar daun yang meningkat 32.00%

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan selanjutnya sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan perbaikan pada *firmware* untuk menghilangkan *delay* atau ketidakakuratan kecil yang terdeteksi pada *timer* otomatis pompa. Hal ini penting agar aktuator dapat mati tepat sesuai durasi yang ditentukan dan meningkatkan responsivitas sistem.
2. Mengembangkan sistem kontrol yang sepenuhnya otomatis (sistem *closed-loop* mandiri) untuk pH dan TDS tanpa intervensi manual (dosis otomatis berdasarkan pembacaan *real-time* sensor).
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperpanjang durasi pengujian hingga beberapa kali siklus tanam, dan melakukan pengujian perbandingan di lingkungan yang lebih ekstrem atau terbuka penuh untuk mengukur ketahanan dan performa sistem secara lebih komprehensif.
4. Menambahkan aktuator lain, seperti pengatur suhu air (misalnya, menggunakan *mini-chiller* atau kipas air) untuk mengatasi masalah cuaca panas.
5. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengujian terhadap durasi sirkulasi larutan nutrisi yang diperpanjang hingga malam hari dengan menggunakan sistem kontrol otomatis berbasis waktu atau sensor suhu, guna mengevaluasi pengaruh stabilitas oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) dan suhu perairan pada periode nokturnal terhadap laju pertumbuhan vegetatif tanaman sawi secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Smith, "Hydroponics: A Beginner's Guide to Growing vegetables, Herbs, and Fruits Without Soil," *Agri-Tech Publishing*, 2020.
- [2] F. A. Siregar, "Pengembangan Sistem Pertanian Berkelanjutan untuk Mencapai Keberlanjutan Pangan," 2023.
- [3] T. Changmai, S. Gertphol, and P. Chulak, "Smart Hydroponic Lettuce Farm using Internet of Things," *International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, pp. 231–236, Jan. 2018, doi: 10.1109/KST.2018.8426141.
- [4] I. Kurniaty, "Pembuatan Hidroponik Untuk Budidaya Tanaman Sayur-sayuran Sebagai Upaya Meningkatkan Kesehatan di Era Pandemi Covid-19 di Kelurahan Balang, Kecamatan Binamu, Kabupaten Jeneponto," *Journal Lepa-lepa Open*, 2021.
- [5] E. Dewi, Agustina Rahmi, and Nuzulina, "Potensi Limbah Air Cucian Beras Sebagai Pupuk Organik Cair (POC) Pada Pertumbuhan Sawi Hijau (*Brassica Juncea L.*)," *Jurnal Agroristek*, vol. 4, no. 2, pp. 40–46, Aug. 2021.
- [6] S. Lee, "Internet of Things in Agriculture: Revolutionizing Farming Practices," *TechFarm Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 45–58, 2019.
- [7] C. Bell, "Arduino IoT Cloud," in *MicroPython for the Internet of Things: A Beginner's Guide to Programming with Python on Microcontrollers*, C. Bell, Ed., Berkeley, CA: Apress, 2024, pp. 425–464. doi: 10.1007/978-1-4842-9861-9_13.
- [8] D. Galuh Pratama, J. Maulindar, and R. Puspita Indah, "Perancangan Monitoring & Pengontrol pH Sayuran Sawi Hidroponik Berbasis IoT (Internet Of Things)," *Ratna Puspita Indah INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 3, pp. 4051–4060, 2023.
- [9] I. K. Wibowo *et al.*, "SLiCE: Implementation of automation technology and Internet of Things in the greenhouse," *Abdimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Merdeka Malang*, vol. 8, no. 2, pp. 315–325, May 2023, doi: 10.26905/abdimas.v8i2.9816.
- [10] C. J. G. Aliac and E. Maravillas, "IOT Hydroponics Management System," *IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, pp. 1–5, Nov. 2018, doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666372.
- [11] J. B. Jones Jr., *Hydroponics*. CRC Press, 2016. doi: 10.1201/9780849331671.
- [12] H. M. Resh, *Hydroponic Food Production*. New York: CRC Press, 2022. doi: 10.1201/9781003133254.
- [13] J. E. Rakocy, M. P. Masser, and T. M. Losordo, "Recirculating Aquaculture Tank Production System," *Southern Regional Aquaculture center*, Nov.

- 2006.
- [14] A. K. Azad, K. Ishikawa, J. C. Diaz-Perez, T. E.-J. Eaton, and N. Takeda, "Growth and Development of Komatsuna (*Brassia rapal. Nothovar*) in NFT (Nutrient Film Technique) System, as Influenced by Natural Mineral," *Agricultural Sciences*, vol. 4, no. 7A, Jun. 2013.
 - [15] D. Savvas and N. Gruda, *Applied Hydroponics*. CRC Press, 2018.
 - [16] M. H. Jensen and A. J. Malter, "Protected Agriculture: A Global Review," 1995.
 - [17] E. Khater, "Comparison Between Hydroponic and Aeroponic System For Lettuce Production," in *The 20th Annual Conference of Misr Soc. of Ag. Eng.*, 2015.
 - [18] E. Haryanto, T. Suhartini, and E. Rahayu, *Sawi & Selada*, Edisi Revisi. Depok: Penebar Swadaya, 1996.
 - [19] J. B. Jones, *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically*. CRC Press Taylor & Francis Group, 2014.
 - [20] O. Elijah, T. A. Rahman, I. Orikumhi, C. Y. Leow, and M. H. D. N. Hindia, "An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges," *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 5, pp. 3758–3773, Oct. 2018, doi: 10.1109/IIOT.2018.2844296.
 - [21] M. Ali Mazidi, R. D. Mckinlay, and D. Causey, *PIC Microcontroller and Embedded Systems Using ASM & C for PIC18_2*, International. New Jersey: Pearson Education, 2008.
 - [22] "ESP32 Series Datasheet 2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth ® + Bluetooth LE SoC Including," 2023. [Online]. Available: www.espressif.com
 - [23] "How to use a PH probe and sensor." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/ReadAnalogVoltage>
 - [24] "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04." [Online]. Available: www.Electfreaks.com
 - [25] "Gravity: Analog TDS Sensor / Meter For Arduino SKU: SEN0244." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software%7C>
 - [26] "High Sensitivity Water Sensor Sensor." Accessed: Feb. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.datasheethub.com/arduino-water-level-sensor/>
 - [27] T. Liu, "Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302) Capacitive-type humidity and temperature module/sensor."
 - [28] T. Hudson, "Understanding AC/DC Power Supplies," 2022.
 - [29] "LM2596 SIMPLE SWITCHER ® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator," 2023. [Online]. Available: www.ti.com
 - [30] "HD44780U (LCD-II)."
 - [31] "DC Mini Submersible Water Pump."
 - [32] R. Davis and S. Schlamminger, "IEEE Instrumentation & Measurement Magazine Basic Metrology for 2020," 2020.
 - [33] A. Hindayani and N. Hamim, "Akurasi dan Presisi Metode Sekunder Pengukuran Konduktivitas Menggunakan Sel Jones Tipe E untuk Pemantauan Kualitas Air Minum," *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, vol. 5, no. 1, pp. 41–51, Mar. 2022, doi: 10.20885/ijca.vol5.iss1.art5.
 - [34] K. Zhang, G. Zheng, H. Wang, C. Zhang, and X. Yu, "Channel Model and

- Performance Analysis for MIMO Systems with Single Leaky Coaxial Cable in Tunnel Scenarios,” *Sensors*, vol. 22, no. 15, p. 5776, Aug. 2022, doi: 10.3390/s22155776.
- [35] “Blynk.” Accessed: Feb. 20, 2024. [Online]. Available: <https://docs.blynk.io/en/>
- [36] M. Banz, “Arduino.” Accessed: Feb. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>
- [37] I. Sommerville, *Software Engineering 9th Edition*. Pearson, 2011.
- [38] R. S. Pressman and B. R. Maxin, “Software Engineering : a Practitioner’s Approach,” 2015.
- [39] R. B. Hadiprakoso, *Rekayasa Perangkat Lunak*. Accessed: Jun. 14, 2024. [Online]. Available: https://play.google.com/books/reader?id=xY7_DwAAQBAJ&pg=GBS.PR3&hl=id
- [40] O. Fitria, N. Hasanah, M. Pd, and R. S. Untari, *Buku Ajar Rekayasa Perangkat Lunak*. UMISDA PRESS, 2020.
- [41] Russ. Miles and Kim. Hamilton, *Learning UML 2.0*. O’Reilly, 2006.
- [42] B. A. Priyaangga, D. B. Aji, M. Syahroni, N. T. S. Aji, and A. Saifudin, “Pengujian Black Box pada Aplikasi Perpustakaan Menggunakan Teknik Equivalence Partitions,” *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi*, vol. 3, no. 3, p. 150, Aug. 2020, doi: 10.32493/jtsi.v3i3.5343.
- [43] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2019.
- [44] I. Ghazali, *Aplikasi Analisis Multivariete SPSS 23*. 2016.
- [45] I. K. Wibowo *et al.*, “SLiCE: Implementation of automation technology and Internet of Things in the greenhouse,” *Abdimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Merdeka Malang*, vol. 8, no. 2, pp. 315–325, May 2023, doi: 10.26905/abdimas.v8i2.9816.
- [46] D. Kumara Hadi, D. Arif Wicaksono, R. Anggriawan, A. Imer Rita, and A. Zulfan, “Desain Smart Nutrition Monitoring System Teknik Budidaya Hidroponik Kangkung Berbasis Internet of Things,” 2023.
- [47] D. Galuh Pratama, J. Maulindar, and R. Puspita Indah, “Perancangan Monitoring & Pengontrol pH Sayuran Sawi Hidroponik Berbasis IoT (Internet Of Things),” *Ratna Puspita Indah INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 3, pp. 4051–4060, 2023.
- [48] Y. H. Anggara, “Sistem Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas LPG Otomatis Berbasis Arduino Uno Menggunakan Metode Prototype.”
- [49] A. pratama, S. Alim, and T. Komputer, “Implementasi Sistem Monitoring Lingkungan Pada Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis IoT,” *Jl. Zainal Abidin Pagaralam*, vol. 9, no. 1, 2024.
- [50] R. E. Putri, H. M. Harahap, and I. Putri, “Pengembangan Sistem Kontrol Nutrisi Budidaya Hidroponik Berbasis IoT (Internet of Things) Sawi Samhong (Brassicacinesis L.),” *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 11, no. 2, pp. 197–206, Aug. 2023, doi: 10.21776/ub.jkptb.2023.011.02.09.
- [51] M. N. Hamidah, N. I. Safitri, D. W. Akbar, O. S. I. Uly, and D. Kurnianto, “Prototype Sistem Monitoring Nutrisi dan Tingkat pH Air pada Budidaya Hidroponik Sayur Pakcoy Menggunakan Teknologi Internet of Things

- (IoT),” *Elektron: Jurnal Ilmiah*, pp. 13–20, Jun. 2023, doi: 10.30630/eji.15.1.336.
- [52] N. Hidayat *et al.*, “Pengaruh Pengaturan Suhu Air Nutrisi Hidroponik Pada Budidaya Cabai Habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.) Effect of Temperature Regulation of Hydroponic Nutrient Water On Habanero Chili Cultivation (*Capsicum chinense* Jacq.),” 2022.
- [53] A. Abu Sneineh and A. A. A. Shabaneh, “Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the Internet of Things,” *MethodsX*, vol. 11, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.mex.2023.102401.
- [54] S. Jun Kyu, C. Su Mon, and K. Subaramaniam, “Smartercropplanting: IOT-Based Mobile Application for Hydroponic System.” [Online]. Available: www.ucs university.edu.my, www.hw.ac.uk/malaysia/,
- [55] G. W. Michael, F. S. Tay, and Y. L. Then, “Development of Automated Monitoring System for Hydroponics Vertical Farming,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Mar. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1844/1/012024.
- [56] K. Tatas, A. Al-Zoubi, A. Antoniou, and D. Zolotareva, “IPONICS: IoT Monitoring and Control for Hydroponics,” in *2021 10th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies, MOCAST 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2021. doi: 10.1109/MOCAST52088.2021.9493387.
- [57] A. Beatrice, A. Pramono, M. H. Yuwono, V. Runtuwene, and I. B. A. Wijaya, “IoT-based pH Monitoring for Nutrient Absorption Efficiency in Hydroponic Plant at Pion Hidrofarm Start-Up,” in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Nov. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202344404037.
- [58] I. P. Wijaya Adh, I. N. R. Hendrawan, I. M. B. Gautama, I. M. A. Budhi, and I. G. N. W. Arsa, “Prototype NFT/DFT Hydroponic Data Collection Using IoT System,” in *2022 4th International Conference on Cybernetics and Intelligent System, ICORIS 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/ICORIS56080.2022.10031337.
- [59] A. Krupych and P. Levush, “Enabling smart spectroscopy via arduino IoT cloud,” *Advances in Cyber-Physical Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 41–46, May 2025, doi: 10.23939/acps2025.01.041.
- [60] E. Roflin, Rohana, and F. Riana, *Analisis Korelasi dan Regresi*, 1st ed. Pekalongan, Jawa Barat: Penerbit NEM, 2022.